

**Акустический прибор для определения тонины шерстяного волокна**

**З. Ф. Валиева<sup>1</sup>**  
**А. А. Ахмедов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан*

<sup>2</sup>*Научный центр АО «PAXTASANOAT ILMIY MARKAZI», Республика Узбекистан*

**Аннотация.** В мире уделяется особое внимание повышению качества текстильной продукции и выработке готовой продукции путем внедрения новых технологий по переработке текстильных материалов. Одним из ключевых факторов развития шерстяной промышленности любой страны является устойчивое развитие собственной сырьевой базы и, прежде всего, развитие отечественного овцеводства и производства натуральной шерсти. Тонина шерстяного волокна является основной качественной характеристикой, по которой осуществляется классификация и ценообразование волокна. Это требует высокой точности и надежности измерения данного показателя. В Республике Узбекистан ввиду высокого удельного веса стоимости сырья в шерстяной промышленности, первостепенное значение приобретает рациональное и экономное использование шерсти. В результате несоответствия качественных показателей шерсти требованиям отрасли первичной обработки наблюдается тенденция снижения выхода волокна. В связи с такой ситуацией высокую актуальность приобретают научные исследования, направленные на разработку, внедрение и модернизацию более совершенных испытательных приборов и соответствующие методы оценки ее свойств в целях обеспечения стабильности протекания технологических процессов прядения, ткачества и отделки. Поэтому целью данной работы является исследование возможности измерения тонины шерстяного волокна на акустическом приборе ПАМ-1. Результаты экспериментов на акустическом приборе были сравнены с показателями диаметра шерстяных волокон, определенных по стандартной методике. Установлено, что погрешности измерений при определении тонины шерстяных волокон с использованием акустического прибора находятся в регламентированных пределах.

**Ключевые слова:** шерстяное волокно, диаметр, акустический метод измерения, регрессионный анализ.

**Информация о статье:** поступила 14 марта 2024 года.

Статья подготовлена по материалам доклада 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 18-19 апреля 2024 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

**Acoustic device for determining the fineness of wool fiber**

**Zulfiya F. Valieva<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan*

**Akmal A. Akhmedov<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>*Scientific Center JSC "PAXTASANOAT ILMIY MARKAZI", Republic of Uzbekistan*

**Abstract.** The world is paying special attention to improving the quality of textile products and the production of finished goods by introducing new technologies for processing textile materials. One of the key factors in the development of the wool industry in any country is the sustainable development of its own raw material base and, above all, the development of domestic sheep breeding and the production of natural wool. The fineness of wool fiber is the main quality characteristic by which the fiber is classified and priced. This requires high accuracy and reliability of measurement of this indicator. This requires high accuracy and reliability in the measurement of this indicator. In the Republic of Uzbekistan, due to the high specific weight of the cost of raw materials in the wool industry, the rational and economical use of wool is of primary importance. As a result of the discrepancy between the quality indicators of wool and the requirements of the primary processing industry, a tendency to reduce the yield of fiber is observed. In connection with this situation, scientific research aims at the development, implementation and modernization of more advanced testing devices and corresponding methods

for assessing wool properties in order to ensure the stability of the technological processes of spinning, weaving and finishing is becoming highly relevant. Therefore, the aim of this work is to study the possibility of measuring the fineness of wool fiber using the PAM-1 acoustic device. The results of experiments on the acoustic device were compared with the diameters of wool fibers determined using standard methods. It has been established that measurement errors when determining the fineness of wool fibers using an acoustic device are within regulated limits.

**Keywords:** wool fiber, diameter, acoustic measurement method, regression analysis.

**Article info:** received March 14, 2024.

The article summarizes the research materials presented at the 57th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, held on April 18–19, 2024 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

### Введение

Мировое производство шерсти сократилось с 1,3 до 1 миллиона тонн и в настоящее время составляет лишь 1 % мирового производства волокна. На мировом рынке шерсти доминирует тонкая и мягкая шерсть мериноса, производимая в основном в Австралии и Новой Зеландии. Эта шерсть чаще всего используется и перерабатывается в мировой текстильной промышленности для производства высококачественного швейного текстиля. Шерсть, полученная в Европе, менее мягкая и грубая. Годовое производство шерсти в странах ЕС составляет более 200 тысяч тонн. Подсчитано, что основная его часть, около 160 тысяч метрических тонн выбрасывается и вообще не перерабатывается [Løvbak Berg, L., I. Grimstad Klepp, A. Schytte Sigaard, J. Broda, M. Rom and K. Kobiela-Mendrek, 2022]. С шерстью часто обращаются как с отходами, создающими проблемы, и она приносит фермерам расходы, а не потенциальный доход. Вместо того, чтобы использовать шерсть, ее без необходимости хранят, закапывают или сжигают [Kicińska-Jakubowska, A. et al., 2023]. Для полной реализации ценного сырья, возникает необходимость в разработке системы сертификации шерстяного волокна на основе своевременной классификации сырья по качественным признакам на основе усовершенствования методов и средств измерений для точной, надёжной, достоверной оценки свойств.

Качество шерсти варьируется в зависимости от двух основных факторов: тонины и среднеквадратического отклонения по тонине. Одним из основных технологических показателей овечьей шерсти является её тонина (в отечественной терминологии) или средний диаметр (в международной практике). Другими качественными факторами являются прочность, длина, загрязняющие вещества, однородность и цвет. Высококачественная шерсть обычно используется для производства одежды. Низкокачественная шерсть используется при

производстве обивки, одеяла и ковров [Тимошенко Н.К., Разгонов Н.Т., Баженова И.А. и Пелиховская Т.Н., 2013; Валиева З.Ф., Хамраева С.А. и Лайшева Э.Т., 2018].

Тонина определяет различное производственное назначение шерсти и лежит в основе различий по прядильной способности. Именно технологическая ценность шерсти, в значительной степени определяемая тониной, положена в основу большинства классификаций и стандартов, разработанных в разных странах мира. Классификация, являясь основой для разработки национальных стандартов, определяет и правила подготовки шерсти для продажи и переработки [Белик Н.И., 2018].

Обозначение тонины волокон шерсти производится в качествах и пришло в отечественную терминологию от разработанной в XIX веке в Англии брэдфордской классификации шерсти. Сущность этой классификации основывается на технической возможности выработки из одного английского фунта (453,6 g) топса (гребенной ленты) разного количества мотков пряжи. В действительности брэдфордская система выражения прядильных свойств шерсти лежала в основе большинства существующих в мире систем классификаций её тонины. Однако, в отличие от них, по брэдфордской системе прядильные качества определяли прямым путем – по количеству мотков пряжи (определенной длины), которые можно получить из единицы массы мытого и чесаного волокна (топса) по определенной системе прядения. Определить показатель можно было либо непосредственной переработкой шерсти в пряжу, либо экспертно, причем при особом и большом опыте оценки шерсти. В конечном итоге именно технологическая ценность шерсти, в значительной степени определяемая тониной, положена в основу большинства классификаций и стандартов, разработанных в разных странах мира [Разумеев К.Э., Пашин Е.Л. и Плеханов А.Ф., 2013]. То

есть брэдфордскую систему классификации следует принимать только как систему деления шерсти по тонине при ее визуальной оценке в условно принятых понятиях «качества». Разрабатывались и другие системы классификации – по составу морфологических типов волокон и по породе овец, по качеству, происхождению, особенностям качества, производственному назначению. Н.К. Тимошенко, Е.Н. Рябина, Н.Т. Разгонов (Тимошенко Н.К., Рябина Е.Н. и Разгонов Н.Т., 2000) приводят классификации шерсти различных стран, которые возникли позднее брэдфордской и имели, почти исключительно, национальное значение. Все эти классификации имеют несколько общих определяющих признаков, сближающих их с брэдфордской: – основываются на тонине; – не имеют цифровые нормативы тонины в микрометрах; – определяются субъективной оценкой и требуют практического опыта; предполагают связь экспертной и объективной оценки тонины путем определения средней величины диаметров в микрометрах (Valieva Z.F., Akhmedov A.A., Ochilov T.A., Ubaydullayeva D.X. and Korabayev Sh.A., 2021). Тонина шерсти зависит от породы, условий кормления и содержания, пола животных, их возраста и индивидуальных особенностей. У молодняка шерсть тоньше, чем у взрослых овец. С возрастом шерсть грубеет, а после 5–6-летнего возраста в связи с ослаблением жизненных функций организма шерсть утоняется. У маток шерсть тоньше, чем у баранов<sup>1</sup> (Caldwell J.P., Mastronarde D.N., Woods, J.L. and Bryson W.G., 2005). Тонина лежит в основе деления рунной основной и пожелтевшей однородной шерсти на сорта при ее классификации и промышленной сортировке. Тонина определяет различное производственное назначение шерсти и лежит в основе различий по прядильной способности.

В зоотехнике тонину шерсти определяют органолептическим, экспертным методом, сравнивая с различными видами эталонов. Сущность метода заключается в установлении тонины волокон, составляющих штапель, путем их просмотра. При просмотре штапель зажимают в продольном направлении между указательным и большим пальцами правой и левой рук и раздвигают так, чтобы между пальцами образовалась сетка волокон. Тонину устанавливают также сравнением с планшетом тонины или стандартными образцами. Планшет

тонины шерсти представляет собой серию эталонных (стандартных) образцов тонины шерсти 70, 64, 60 и 58 качеств, заключенных в прозрачную коробку из плексигласа<sup>2</sup>.

В производственных условиях тонину шерсти определяют органолептическим методом, для чего из разных участков руна отбирают 3–5 штапелей. Каждый поочередно берут большим и указательным пальцами обеих рук за концы, расправляют до образования сетки и просматривают для определения тонины волокон, равномерности по тонине. При определении класса тонины однородной шерсти иногда (при разногласиях и др.) пользуются эталонными образцами шерсти. Для более точного определения тонины шерсти пользуются лабораторным методом, при котором диаметр поперечного сечения шерстного волокна определяют под микроскопом или ланаметром и выражают в микрометрах<sup>2</sup>.

Согласно ГОСТ 30702-2000 торговая сельскохозяйственно-промышленная классификация мытой и невымытой шерсти всех наименований осуществляется в зависимости от групп тонины, где однородную шерсть делят на: тонкую, полутонкую, полугрубую, грубую; неоднородную полугрубую и грубую шерсть в зависимости от наименования (породы овец) и средней тонины волокон делят на группы: первую, вторую, третью, четвертую (Намраева S.A., Laysheva E.T. and Valiyeva Z.F., 2019).

Шерсть однородную, неоднородную всех групп тонины и наименований рунную основную и пожелтевшую делят по тонине, длине, прочности, засоренности, цвету (Рыклин Д.Б., 2017).

По мнению Разгонова Н.Т. проблема заключается в том, что сертификация такого неоднородного сырья, каким является шерсть, может осуществляться только при надлежащем метрологическом обеспечении как средств измерения (СИ), так и методик выполнения измерений (МВИ). Метрологическое обеспечение измерений и сертификация шерстяного сырья заключаются в строгом соблюдении требований, предъявляемых к качеству измерений (Разгонов Н.Т., 2004).

Ряд устройств, таких как микрометр и микрометрический суппорт, доступны для измерения толщины, в долях метра, различных тонких материалов. В подходящих материалах, возможны измерения порядка 0,01 мм (Cottle D.J. and Baxter B.P., 2015).

<sup>1</sup> URL: [https://magic-wool.com/encyclopedia/klassifikatsiya\\_shersti.html](https://magic-wool.com/encyclopedia/klassifikatsiya_shersti.html), (дата обращения: 14.05.2024).

<sup>2</sup> URL: <https://www.livemaster.ru/topic/129357-svoystva-shersti>, (дата обращения: 14.05.2024).

Характерная особенность кроссбредной шерсти – ее однородность, штапельно-косичное строение руна, белый с блеском цвет, мягкость, упругость, эластичность, средняя и крупная извитость, длина 11–15 см, тонины 58–50 качества и ниже. В работе (Cottle D.J. and Baxter B.P., 2015) отмечено, что основная масса рун (51,1–55,5) обеих групп имели шерсть тониной 56 качества.

Анализ показывает, что, хотя основные характеристики волокна/руна, которые в настоящее время влияют на ценнообразование и торговлю мериносовой шерстью, можно легко и точно измерить, еще предстоит проделать значительную работу по увязыванию измерений шерсти с прогнозированием характеристик как при обработке, так и при ее обработке. в конечном продукте. Коммерческое значение физических свойств сырой шерсти суммировано в таблице 1. Средний диаметр волокна на сегодняшний день является наиболее важным физическим свойством, влияющим на производительность обработки, свойства ткани, потребительскую оценку и цену за килограмм. Некоторые физические свойства имеют большое значение на ранних и/или поздних стадиях об-

работки, тогда как другие имеют меньшее значение в зависимости от определенного конечного использования, для которого предназначено волокно. Эти физические свойства напрямую влияют на скорость обработки, выход продукции, количество отходов, качество пряжи, эффективность крашения, визуальные характеристики, характеристики ручек, свойства ткани, стоимость продукта и привлекательность для покупателя. Коттл и Бакстер (Cottle D.J., and Baxter B.P., 2015) рассмотрели требования к испытаниям важных физических свойств шерсти.

Учитывая выше сказанное, целью данного исследования является обеспечение точного и надёжного определения качественных показателей шерстяных волокон на основе усовершенствования метода измерения его среднего диаметра (тонины), для обеспечения правильной и своевременной классификации сырья.

### Методы и средства исследований

В настоящее время актуальное значение приобрела проблема создания приборов для оценки качественных характеристик шерстяных волокон, основанными на

Таблица 1 – Важность свойств шерсти для обработки шерсти

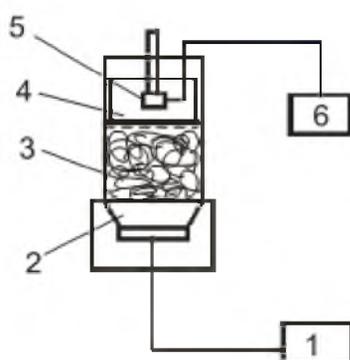
Table 1 – Importance of wool properties for wool processing

Характеристики	Значение обработки	Важность очистки и обработки поверхности	Значение для производства пряжи и тканей
Средний диаметр волокна	Влияет на линейную плотность, равномерность пряжи, поверхностную плотность ткани, колючесть и мягкость ткани	****	****
Длина	Основной вклад в высокое качество пряжи	***	***
Производительность стирки	Измеряет количество чистого волокна	****	***
Количественное содержание пороков и сорных примесей	Влияет на производительность чесания, а также повышает изысканность и качество ткани	***	**
Разрывная нагрузка	Влияет на механические характеристики пряжи и готовой продукции	***	****
Извитость волокна	Влияет на прочность, равномерность по линейной плотности пряжи, свойства ткани	**	**

Примечание: \*\*\*\*самое важное; \*\*\*главный; \*\*вторичный.

неразрушающих методах контроля и диагностики качества. Важным показателем при сортировке шерсти является показатель среднего диаметра волокна (тонина), который является основным критерием оценки его прядильной способности и используется при установлении цены.

Акустический прибор ПАМ-1 для измерения показателя микронейр хлопкового волокна может быть использован для измерения диаметра шерстяных волокон [Ахмедов А., Валиева З.Ф. и Махкамова Ш.Ф., 2020; Valieva, Z.F. et al., 2020]. Унифицированный акустический прибор ПАМ-1 для определения качественных показателей хлопкового волокна (рисунок 1).



1 – генератор; 2 – излучатель; 3 – рабочая камера;  
4 – плунжер; 5 – микрофон; 6 – измерительный блок

Рисунок 1 – Акустический прибор ПАМ-1  
Figure 1 – Acoustic device PAM-1

Звуковые колебания, возбуждаемые с помощью генератора 1 и излучателя 2, направляются в рабочую камеру прибора 3, в которую помещается проба для испытаний. Прощедшие через пробу волокна звуковые волны преобразуются в электрический сигнал с помощью микрофона, установленного внутри плунжера 4. Величина сигнала пропорциональна амплитуде давления звуковых колебаний. Величина выходного сигнала измеряется блоком измерения и индикации [Valieva, Z.F. et al., 2020].

Для проверки возможности измерения диаметра шерстяного волокна проанализируем процесс прохождения звуковых колебаний через пробу шерсти, заключенной в измерительную камеру прибора. При прохождении плоских звуковых волн через волокни-

стую пробу происходит потеря энергии за счет трения о поверхность волокна, что приводит к изменению амплитуды звуковых колебаний и сдвигу фаз звуковых волн.

Как известно, давление амплитуды плоской звуковой волны вдоль оси  $Ox$ , совпадающей с направлением распространения волны изменяется по формуле:

$$P = P_0 e^{-j\mathbf{l}}, \quad (1)$$

где  $P_0$  – давление звуковых колебаний перед пробой волокна;  $\mathbf{l}$  – толщина слоя волокнистой пробы;  $j$  – постоянная распространения, определяется формулой:

$$J = \alpha + \beta i, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания звуковых колебаний;  $\beta$  – волновое число;  $i$  – комплексное число.

В данной работе рассматривается принцип измерения по затуханию звуковых волн.

Поэтому изучается связь выходного сигнала от параметра волокна.

Как показано в работе [Valieva, Z.F. et al., 2020], в области низких частот звуковых колебаний наблюдается зависимость затухания акустических колебаний от параметров волокна.

$$\alpha = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} k S_0 \sqrt{f}, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – пористость пробы волокна, равная отношению объема пор в пробе к общему объему пробы;  $f$  – частота звуковых колебаний, Гц;  $S_0$  – удельная поверхность волокна, равная отношению площади боковой поверхности волокон в пробе к их объему,  $1/м$ ;  $k$  – постоянный коэффициент.

В настоящей работе изучается зависимость тонины шерстяного волокна от затухания звуковых колебаний.

На основании алгоритмов для расчета диаметра шерсти по величине затухания звуковых колебаний на приборе ПАМ-1, приведенных в формулах 4–5, был разработан программный продукт.

$$d = \frac{39,297}{8,3357 - \ln U}, \quad (4)$$

где  $d$  – диаметр шерсти, мкм;  $U$  – выходной сигнал прибора ПАМ-1, мВ; 39,297; 8,3357 – градуировочные коэффициенты прибора ПАМ-1 для диапазона диаметра шерсти 35–45 мкм.

Алгоритмы для расчета диаметра шерсти по величине затухания звуковых колебаний на приборе ПАМ-1

определяются по формуле:

$$d = \frac{27,525}{7,9778 - \ln U}, \quad (5)$$

где,  $d$  – диаметр шерсти, мкм;  $U$  – выходной сигнал прибора ПАМ-1, мВ; 27,525; 7,9778 – градуировочные коэффициенты прибора ПАМ-1 для диапазона диаметра шерсти 24–35 мкм.

## Результаты исследований

При исследовании зависимости тонины шерстяного волокна от затухания звуковых колебаний была выведена функциональная связь коэффициента затухания звуковых колебаний  $\alpha$  с диаметром шерстяного волокна.

Обозначив приведённую зависимость в формуле [3] через  $B$ ,

$$B = \frac{4k(1 - \varepsilon)}{\varepsilon} \sqrt{f}, \quad (6)$$

получим

$$\alpha = \frac{B}{d}. \quad (7)$$

Заменив в формуле (1) давление звуковых колебаний на пропорциональный ему выходной сигнал прибора, получаем следующее выражение:

$$U = U_0 e^{-\alpha l}. \quad (8)$$

Подставив в формулу (8) выражение (7) для коэффициента затухания и прологарифмируя полученное выражение, получаем:

$$\ln U = \ln U_0 - \frac{B \cdot \ell}{d}. \quad (9)$$

Учитывая допущения, принятые при выводе формулы (7), можно предположить, что между логарифмом выходного сигнала прибора и диаметром шерстяного волокна существует линейная регрессия

$$\ln U = A_0 - \frac{A_1}{d}, \quad (10)$$

где  $A_0 = \ln U_0$ ,  $A_1 = B \cdot \ell$ .

Заметим, что из выражения (9), сделав преобразования, можно получить зависимость для диаметра шерстяных волокон:

$$\frac{B \cdot \ell}{d} = \ln U_0 - \ln U, \quad d = \frac{B \cdot \ell}{\ln \frac{U_0}{U}} \cdot l. \quad (11)$$

Полученная зависимость (11) для диаметра шерстяных волокон позволяет рассчитать его с учетом интенсивности выходного сигнала акустического прибора ПАМ-1, применяемого в качестве эффективного инструментария для экспрессного метода определения сорта хлопка-сырца и хлопкового волокна волн (Valieva Z.F., Laysheva E.T., Akhmedov A.A. and Makhkamova Sh.F., 2020).

Расчет по формуле (11) производится с учетом пористости пробы и длины волокна, частоты звуковых колебаний. Таким образом, реализуется расчетно-экспериментальный метод определения диаметра шерстяных волокон, являющегося важным параметром при подготовке исходных данных для шерстопрядения (Valieva Z.F., Laysheva E.T., Akhmedov A.A. and Makhkamova Sh.F., 2020).

Были рассчитаны значения средних квадратичных отклонений при сравнение значений диаметров, полученных экспериментальным и теоретическим путём, приведённых в таблице 2 и которые составляют для диапазона диаметра шерсти от 24–31,8 мкм – 0,267 мкм; для диапазона диаметра шерсти от 36,3–45 мкм – 0,249 мкм.

## Анализ результатов

На основании круговых лабораторных испытаний, проводимых Международной ассоциацией лабораторий по шерстяному текстилю (Interwoollabs), общепринята достоверность измерения среднего диаметра для каждого названного метода (Valieva Z.F., Akhmedov A.A., Ochilov T.A., Ubaydullayeva D.X. and Korabayev Sh.A., 2021; Ахмедов А., Валиева З.Ф. и Махкамова Ш.Ф., 2020) в сравнение с акустическим способом, которая представлена в таблице 3.

Были рассчитаны значения средних квадратичных отклонений при сравнение значений диаметров, полученных экспериментальным и теоретическим путём, приведённых в таблице 4 и которые составляют для диапазона диаметра шерсти от 24–31,8 мкм – 0,267 мкм; для диапазона диаметра шерсти от 36,3–45 мкм – 0,249 мкм.

## Выводы

Таким образом, впервые с помощью прибора ПАМ-1 определён средний диаметр (код тонины) шерстяного волокна, который является основным показателем, определяющим в стандартах его качественные градации. По приведённым результатам исследования можно утверждать, что погрешности измерений при определении тонины шерстяных волокон с использо-

ванием акустического прибора находятся в установленных пределах и свидетельствуют о целесообразности применения прибора ПАМ-1 для определения геометрических характеристик шерстяного волокна.

*Таблица 2 – Стандартные и расчётные значения диаметра шерсти*

*Table 2 – Standard and estimated wool diameter values*

<b>Разновидность шерстяного волокна/выходной сигнал, мВ</b>	<b>Диаметр шерстяных волокон, определённых по стандартному методу, мкм</b>	<b>Расчётный диаметр шерстяных волокон, мкм</b>	<b>Разность по значениям диаметров шерсти</b>	<b>Квадрат разности</b>
Верблюжья 1 отбор 934,5	24,0	24,19	0,19	0,0361
Верблюжья 2 отбор 963,5	25,0	24,86	- 0,14	0,0196
Верблюжья 4 отбор 1000,0	25,7	25,72	0,02	0, 0004
Козья тонкая 1150,5	29,6	29,60	0	0
Овечья черная 2 отбор 1138,0	29,7	29,26	- 0,44	0,1936
Козья шерсть 3 отбор 1155,0	30,0	29,73	- 0,27	0,0073
Овечья черная 1 отбор 1233,5	31,7	31,99	0,28	0,0841
Овечья светлая 2 отбор 1240,0	31,8	32,19	0,39	0,1521
Овечья светлая 1 отбор 1375,5	35,3	35,43	0,13	0,0169
Овечья светлая 3 отбор 1413,0	36,3	36,31	0,01	0,0001
Козья шерсть 4 отбор 1513,4	38,9	38,77	- 0,13	0,0169
Верблюжья 3 отбор 1620,0	42,0	41,56	- 0,44	0,1936
Козья грубая 1699,8	43,7	43,79	0,09	0,0081
Козья 5 отбор 1754,0	45,0	45,37	0,37	0,1369

Таблица 3 – Погрешность измерения тонины (среднего диаметра) шерсти при различных методах оценки

Table 3 – Error in measuring the fineness (average diameter) of wool using various assessment methods

Наименование метода	Погрешность методов ( $P = 0,95$ )	
	22,0 мкм	37,0 мкм
Оптические методы		
Микроскоп	$\pm 0,90$	$\pm 1,15$
OFDA	$\pm 0,36$	$\pm 0,65$
LASERSCAN	$\pm 0,32$	$\pm 0,70$
Метод воздушного потока		
AIR-FLOW (постоянное давление)	$\pm 0,45$	$\pm 0,90$
Акустический метод		
ПАМ-1	$\pm 0,45$	$\pm 0,33$

Таблица 4 – Стандартные и расчётные значения диаметра шерсти

Table 4 – Standard and estimated wool diameter values

Значения выходного сигнала, мВ	Логарифм выходного сигнала	Значения диаметра шерстяных волокон, определённых по стандартному методу, мкм	Расчётное значение диаметра шерстяных волокон, мкм	Разность по значениям диаметров шерсти	Квадрат разности
934,5	6,84	24,0	24,19	0,19	0,0361
963,5	6,87	25,0	24,86	- 0,14	0,0196
1000,0	6,90	25,7	25,72	0,02	0,0004
1150,5	7,05	29,6	29,60	0	0
1138,0	7,04	29,7	29,26	- 0,44	0,1936
1155,0	7,06	30,0	29,73	- 0,27	0,0073
1233,5	7,012	31,7	31,99	0,28	0,0841
1240,0	7,12	31,8	32,19	0,39	0,1521
1375,5	7,23	35,3	35,43	0,13	0,0169
1413,0	7,25	36,3	36,31	0,01	0,0001
1513,4	7,32	38,9	38,77	- 0,13	0,0169
1620,0	7,39	42,0	41,56	- 0,44	0,1936
1699,8	7,43	43,7	43,79	0,09	0,0081
1754,0	7,47	45,0	45,37	0,37	0,1369

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ахмедов, А., Валиева, З.Ф. и Махкамова, Ш.Ф. (2020). Акустический метод измерения диаметра шерстяного волокна. *Материалы докладов 53-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Том 2, с. 268–271.

Белик, Н.И. (2018). Классификация и стандартизация шерсти по тонине. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*, (1 (50)), С. 113–118. doi: 10.24411/2078-1318-2018-11113.

Валиева, З.Ф., Хамраева, С.А. и Лайшева, Э.Т. (2018). Определение геометрических характеристик местной шерсти стандартным методом и акустическим прибором, *Проблемы текстиля*, Ташкент, № 1, С. 47–51.

Разгонов, Н.Т. (2004). Проблемы качества овечьей шерсти и её сертификация. *Сельскохозяйственный журнал*, 2 (2-2), с. 121–125.

Разумеев, К.Э., Пашин, Е.Л. и Плеханов, А.Ф. (2013). *Классификация и методы испытаний отечественного натурального текстильного сырья: учебное пособие (электр. издание)*. Одинцово: АНО О ВПО «Одинцовский гуманитарный институт», Российская Федерация.

Рыклин, Д.Б. (2017). *Технология и оборудование для подготовки к прядению. Раздел «Сырьевая база текстильной промышленности»: конспект лекций*, Витебск : УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Тимошенко, Н.К., Разгонов, Н.Т., Баженова, И.А., и Пелиховская, Т.Н. (2013). Тонина как основной показатель качества шерсти. *Сельскохозяйственный журнал*, 2 (6 (1)), С. 260–264.

Тимошенко, Н.К., Рябинина, Е.Н. и Разгонов, Н.Т. (2000). *Шерсть как товар на рынке сырья и готовой продукции. В: Шерсть. Первичная обработка и рынок: монография / под ред. Н.К. Тимошенко*. М.: ВНИИМП РАСХН, С. 6–87.

Caldwell, J.P., Mastrorarde, D.N., Woods, J.L. and Bryson, W.G. (2005). The three dimensional arrangement of intermediate filaments in Romney wool cortical cells, *Journal of structural biology*. – V. 151 – P. 298–305.

Cottle, D.J., and Baxter, V.P. (2015). Wool metrology research and development to date. *Textile Progress*, 47(3), P. 163–315. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1108543>.

Hamraeva, S.A., Laysheva, E.T. and Valiyeva, Z.F. (2019). Determination of geometric characteristics of local wool by standard method and acoustical instrument, *Textile Journal of Uzbekistan*, Vol. 1 : No. 1, Article 9.

Kicińska-Jakubowska, A., Broda, Ja., Zimniewska, M. and Przybylska, P. (2023). Characteristics of Wool of Selected Polish Local Sheep Breeds with Mixed Type Fleece, *Journal of Natural Fibers*, 21(1). doi: 10.1080/15440478.2023.2290855.

Løvbak Berg, L., I. Grimstad Klepp, A. Schytte Sigaard, J. Broda, M. Rom, and K. Kobiela-Mendrek (2022). Reducing Plastic in Consumer Goods: Opportunities for Coarser Wool. *Fibers*, 11 (2).

Valieva, Z.F., Laysheva, E.T., Akhmedov, A.A. and Makhkamova, Sh.F. (2020). Metod for measuring wool fiber diameter. *Articles of the V International Scientific and Practical Conference «Education and science in the 21st century»*, Vitebsk. – pp. 65–69.

Valieva, Z.F., Akhmedov, A.A., Ochilov, T.A., Makhkamova, Sh.F. and Valieva, K.D. (2020). Development of Optimal Parameters for Determining the Diameter of Wool Fibres Using the Instrument PAM-1. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(10).

Valieva, Z.F., Akhmedov, A.A., Ochilov, T.A., Ubaydullayeva, D.X. and Korabayev, Sh.A. (2021). Possibility to Use Acoustic Device PAM-1 to Determine Quality Characteristics of Wool Fiber. *Annals of R.S.C.B.*, 25(6), pp. 10166–10173. DOI: <http://annalsofrscb.ro>.

REFERENCES

Akhmedov, A., Valieva, Z.F., and Makhkamova, Sh.F. (2020). Acoustic method for measuring the diameter of wool fiber [Akusticheskiy metod izmereniya diametra sherstyanogo volokna]. *Materialy dokladov 53-j mezhdunarodnoj nauchno-*

*tekhnikeskoy konferencii prepodavatelej i studentov = Proceedings of the 53rd International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk, Vol. 2, pp. 268–271 (In Russian).

Belik, N.I. (2018). Classification and Standardization of Wool by Fineness [Klassifikaciya i standartizaciya shersti po tonine]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Saint Petersburg State Agrarian University*, 1 (50), pp. 113–118. doi: 10.24411/2078-1318-2018-11113 (In Russian).

Valieva, Z.F., Khamraeva, S.A., and Laisheva, E.T. (2018). Determination of Geometrical Characteristics of Local Wool by Standard Method and Acoustic Device [Opredelenie geometricheskikh harakteristik mestnoj shersti standartnym metodom i akusticheskim priborom]. *Problemy tekstilya = Textile problems*, Tashken, No. 1, pp. 47–51 (In Russian).

Razgonov, N.T. (2004). Problems of sheep wool quality and its certification. [Problemy kachestva ovechej shersti i eyo sertifikaciya], *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural journal*, 2 (2-2), pp. 121–125 (In Russian).

Razumeev, K.E., Pashin, E.L. and Plekhanov, A.F. (2013). *Klassifikaciya i metody ispytaniy otechestvennogo natural'nogo tekstil'nogo syr'ya: uchebnoe posobie (elektr. izdanie)* [Classification and testing methods of domestic natural textile raw materials: a tutorial (electronic edition)]. Odintsovo: ANO O VPO "Odintsovo Humanitarian Institute", Russian Federation (In Russian).

Ryklin, D.B. (2017). *Tekhnologiya i oborudovanie dlya podgotovki k pryadeniyu. Razdel «Syr'evaya baza tekstil'noj promyshlennosti»: konspekt lekcij* [Technology and equipment for preparation for spinning. Section "Raw materials base of the textile industry": lecture notes], Vitebsk: UO "VSTU", Republic of Belarus (In Russian).

Timoshenko, N.K., Razgonov, N.T., Bazhenova, I.A., and Pelikhovskaya, T.N. (2013). Fineness as the Main Indicator of Wool Quality [Tonina kak osnovnoj pokazatel' kachestva shersti]. *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal = Agricultural Journal*, 2 (6 (1)), pp. 260–264 (In Russian).

Timoshenko, N.K., Ryabinina, E.N. and Razgonov, N.T. (2000). *SHerst' kak tovar na rynke syr'ya i gotovoj produkcii. V: SHerst'. Pervichnaya obrabotka i rynek: monografiya / pod red. N.K. Timoshenko* [Wool as a commodity in the market of raw materials and finished products. In: Wool. Primary processing and market: monograph / edited by N. K. Timoshenko]. Moscow: VNIIMP RAAS, pp. 6–87. (In Russian).

Caldwell, J.P., Mastronarde, D.N., Woods, J.L. and Bryson, W.G. (2005). The three-dimensional arrangement of intermediate filaments in Romney wool cortical cells, *Journal of structural biology* – V. 151 – P. 298–305.

Cottle, D.J., and Baxter, B.P. (2015). Wool metrology research and development to date. *Textile Progress*, 47(3), P. 163–315. <https://doi.org/10.1080/00405167.2015.1108543>

Hamraeva, S.A., Laysheva, E.T. and Valiyeva, Z.F. (2019). Determination of geometric characteristics of local wool by standard method and acoustical instrument, *Textile Journal of Uzbekistan*, Vol. 1: No.1, Article 9.

Kicińska-Jakubowska, A., Broda, J., Zimniewska, M. and Przybylska, P. (2023). Characteristics of Wool of Selected Polish Local Sheep Breeds with Mixed Type Fleece, *Journal of Natural Fibers*, 21(1). doi: 10.1080/15440478.2023.2290855.

Løvbak Berg, L., I. Grimstad Klepp, A. Schytte Sigaard, J. Broda, M. Rom, and K. Kobiela-Mendrek (2022). Reducing Plastic in Consumer Goods: Opportunities for Coarser Wool. *Fibers*, 11 (2).

Valieva, Z.F., Laysheva, E.T., Akhmedov, A.A. and Makhkamova, Sh.F. (2020). Metod for measuring wool fiber diametr. *Articles of the V. International Scientific and Practical Conference «Education and science in the 21st century»*, Vitebsk. – pp. 65–69.

Valieva, Z.F., Akhmedov, A.A., Ochilov, T.A., Makhkamova, Sh.F. and Valieva, K.D. (2020). Development of Optimal Parameters for Determining the Diameter of Wool Fibres Using the Instrument PAM-1. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 7(10).

Valieva, Z.F., Akhmedov, A.A., Ochilov, T.A., Ubaydullayeva, D.X. and Korabayev, Sh.A. (2021). Possibility to Use Acoustic Device PAM-1 to Determine Quality Characteristics of Wool Fiber. *Annals of R.S.C.B.*, 25(6), pp. 10166–10173. DOI: <http://annalsfrscb.ro>.

**Валиева Зулфия Фахритдиновна**

Доцент кафедры «Материаловедение и стандартизация», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: zulfiya-valieva-76@mail.ru

**Ахмедов Акмал Ахмедович**

Кандидат технических наук, научный консультант отдела стандартизации и метрологии, научный центр АО «PAXTASANOAT ILMIY MARKAZI», Республика Узбекистан.

E-mail: info@paxtasanoatilm.uz

**Zulfiya F. Valieva**

Associate Professor at the Department "Materials Science and Standardization", Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: tzulfiya-valieva-76@mail.ru

**Akmal A. Akhmedov**

Candidate of Science (in Engineering), Scientific Consultant of the Department of Standardization and Metrology, Scientific Center JSC "PAXTASANOAT ILMIY MARKAZI", Republic of Uzbekistan.

E-mail: info@paxtasanoatilm.uz