

УДК 678 + 519. 2

**К ОБОСНОВАНИЮ ОБЪЕМА ВЫБОРКИ  
ИЗМЕРЕНИЙ ТОНИНЫ ВОЛОКОН ШЕРСТИ  
С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ**

**RATIONALE SAMPLE SIZE MEASUREMENTS FINENESS  
OF WOOL FIBER WITH AN ELECTRON MICROSCOPE**

*С.В. ВЯЗИГИН, В.З. КРУЧЕНЕЦКИЙ, М.Б. ОТЫНШИЕВ, Р.О. ЖИЛИСБАЕВА*  
*A.V. VYAZIGIN, V.Z. KRUCHENETSKY, M.B. OTYNSHIEV, R.O. ZHILISBAYEVA*

*(Алматинский технологический университет, Республика Казахстан)*  
*(Almaty Technological University, Republic of Kazakhstan)*

*E-mail: wismas @ mail.ru, kruchen\_37@ mail.ru, asutormo@mail.ru, rau\_45@mail.ru*

*Изложены вопросы обоснования объема выборки при определении тонины волокон шерсти с использованием электронного микроскопа, компьютерных средств обработки и статистического анализа результатов измерений, приведены полученные показатели точности тонины.*

*The questions of sample size are expounded at determination fineness of fibres of wool with the use of electronic microscope, computer facilities of treatment and*

*statistical analysis of results of measurings, the got indexes of exactness of fineness are resulted.*

**Ключевые слова:** тонина, волокна, шерсть, точность, измерение, электронный микроскоп, статистика, числовые характеристики.

**Keywords:** fineness, fibres, wool, exactness, measuring, electronic microscope, statistics, numerical descriptions.

Тонина волокон шерсти – главное свойство, определяющее ее технологическую ценность, и важнейший признак в селекции овец, при улучшении качества шерсти. Измерение тонины волокон шерсти сталкивается с проблемами, поскольку из-за малости ее размера (единицы – до сотен микрон) механические методы непригодны, а использование всех других методов сопряжено с большими трудностями, так как волокна характеризуются пространственной нерегулярностью, и их значения по длине непостоянны. Поэтому измерения тонины в группе хаотически расположенных экземпляров волокон необходимо осуществлять на отдельных волокнах, причем на участках по их длине, выделенных из группы, свободных от пересечений, наложений и от других артефактов и помех [1], [3]. Тонина должна определяться из статистической совокупности таких волокон – как средняя величина, с необходимой доверительной вероятностью, определяющей погрешность, не превышающую величину, установленную стандартами [1], [2].

Разработанный определенным коллективом авторов прибор по установлению тонины с помощью электронного микроскопа (ЭМ) выполнен в виде законченной конструкции, соединенной с компьютером, на который передается информация для определения тонины волокон. Обработанные изображения и проанализированные результаты каждой порции из общего изображения исследуемого образца в пределах зоны ограничены активным локальным участком просмотра ЭМ. Сканирование зон в пределах всего пространства изображения исследуемого образца происходит автоматически, с возможностью задания шага и соот-

ветственно числа зон измерений тонины. Число измерений группы в одном образце может варьироваться в широких пределах – от единиц до тысяч. Результаты определения тонины дифференцированно, по каждой зоне и в целом по каждому образцу, для наглядности визуализируются на экране компьютера в виде кривой распределения (рис. 1) иллюстрации много-численных числовых характеристик. Чтобы оптимизировать полученные результаты по тонине шерсти в условиях многочисленных влияющих факторов на измерения, необходимо обосновать объем выборки (число измерений), обеспечивающий статистически значимую минимальную величину погрешности измерений, и определить функциональные зависимости этого критерия от других значимых факторов: среднего значения, вариации и формы распределения [5].



Рис. 1

В абсолютном большинстве данные измерений тонины концентрируются вокруг некоей центральной величины – среднего значения (рис. 1). Ее распределение имеет типичную колоколообразную форму, представляя кривую Гаусса. Это следует не только из визуальной, но и аналитической оценки всех основных параметров кривой – исследуемое распределение тонины

эмпирически оказалось нормальным, что подтверждает его основные свойства:

- его математическое ожидание, мода и медиана совпадают друг с другом;

- основная масса нормально распределенных значений тонины лежит в интервале, длина которого равна  $\pm 1,33$  стандартного отклонения, то есть межквартильный размах находится в интервале  $\pm 0,66$  стандартного отклонения от среднего значения;

- значения нормально распределенной случайной величины лежат на всей числовой оси [4], [5]. При этом полагаем известным, что:

1) математическое ожидание равно сумме всех значений генеральной совокупности измеренных величин тонины, деленное на ее объем:

$$\mu = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{N}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – математическое ожидание;  $X_i$  –  $i$ -е наблюдение переменной  $X$ -го значения тонины;  $N$  – число элементов измерений;

2) стандартное отклонение ( $\delta$ ), позволяющее оценить величину колебаний выборки вокруг среднего значения, равно квадратному корню из дисперсии:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{N}; \quad (2)$$

3) медиана – число, разделяющее выборку пополам, межквартильный размах составляет 25% данных.

Плотность распределения вероятности  $f(X)$  можно вычислить по формуле:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\delta}\right)^2}, \quad (3)$$

где  $e$  – константа, равная 2,71828;  $\pi$  – константа, равная 3,14159.

Так как в формуле (3)  $e$  и  $\pi$  – математические константы, то плотность распределения зависит только от двух параметров  $\mu$  и  $\delta$ . Плотности нормального распределения для одного и того же образца могут иметь одинаковые или разные сочетания этих величин. Поэтому в зависимости от

значений  $\mu$  и  $\delta$  можно выделить характерные виды нормальных распределений – симметричное, несимметричное (с положительной и отрицательной симметрией). Для точной оценки симметричности кривых в статистике применяют пять базовых показателей:  $X_{\min}$ ,  $X_{\max}$ , медиану, первый и третий квартили [5]. Для симметричного распределения: расстояния от  $X_{\min}$  или  $X_{\max}$  до медианы, а также от  $X_{\min}$  до первого квартиля и от  $X_{\max}$  до третьего квартиля, а также от этих квартилей до медианы – одинаковые.

Поскольку число комбинаций  $\mu$  и  $\delta$  велико, то вычислить значения плотностей вероятностей по формуле (3) достаточно сложно, поэтому преобразуем их и, нормируя нормально распределенную величину в виде  $Z$ , табулируем. Для преобразования используем формулу:

$$Z = \frac{x-\mu}{\delta}. \quad (4)$$

Плотность стандартизованного нормального распределения находим, как:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}Z^2}. \quad (5)$$

Любое множество нормально распределенных величин можно преобразовать в стандартизованную форму, а затем искомую величину вероятности определить по таблице кумулятивного стандартизованного нормального распределения, например, по таблице Д2, приведенной в [5, с. 1240]. Так, для большинства экземпляров кривых нормального распределения по определению тонины математическое ожидание, мода и медиана оказываются одинаковыми. Это означает, что нормальное распределение оказывается очень близким к стандартизованному.

При определении тонины в данном приборе все перечисленные выше числовые характеристики программно вычисляются по всей выборке, то есть по всей генеральной совокупности данных измерений. Они являются статистически описательными и, следовательно, обоснованным инструментом для оценки

точности и погрешности определения тонины. Действительно, в большинстве ситуаций основная доля наблюдений концентрируется вокруг медианы, образуя кластер. У симметричных данных математическое ожидание и медиана совпадают, а наблюдения концентрируются вокруг него колоколообразно. Это означает, что для оценки изменчивости можно применять эмпирическое правило, которое гласит: если данные имеют колоколообразное распределение, то приблизительно 68% наблюдений отстоят от математического ожидания не более чем на одно стандартное отклонение; приблизительно 95% отстоят не более чем на два и 99% – не более чем на три стандартных отклонения [5]. Таким образом, стандартное отклонение дает основание считать, как распределены значения тонины и как идентифицируются ее выбросы. Из эмпирического правила также следует, что для колоколообразного распределения лишь одно значение из двадцати отличается от математического ожидания больше чем на два стандартных отклонения; значения, лежащие за этими пределами этого интервала, всегда являются выбросами. Аналогично только три из 1000 наблюдений отличаются от математического ожидания на три стандартных отклонения. Поэтому принятая доверительная вероятность определения тонины составляет не менее 0,95, что соответствует стандартам [2].

Из выражения для стандартной ошибки среднего ( $\delta_{\text{сто}}$ ), которая определяет диапазон изменения выборки, и которая равна стандартному отклонению генеральной совокупности  $\delta$ , деленной на квадратный корень из объема выборки  $n$ :

$$\delta_{\text{сто}} = \delta / \sqrt{n}. \quad (6)$$

легко видеть влияние объема выборки на стандартное отклонение выборки среднего. Так, четырехкратное увеличение объема выборки приводит к уменьшению последнего вдвое. Из этого же выражения (6), а также из (4), нетрудно определить влияние объема выборки на концентрацию

средних значений и выборочных распределений и интервалы, содержащие заданную часть (95%) выборочных средних тонины. Как известно [5], центральная предельная теорема утверждает, что при достаточно большом объеме выборки выборочное распределение средних можно аппроксимировать нормальным законом распределения. Как правило, для подавляющего большинства генеральных выборочных совокупностей выборочное распределение становится близким к нормальному при  $n = 30$ . Но, если известно, что распределение является колоколообразным, то эту теорему можно применить и для меньшего объема выборки. Так, если распределение генеральной совокупности симметричное, то выборочное распределение становится приблизительно нормальным при  $n = 15$ . Если генеральная совокупность является нормально распределенной, то выборочное распределение средних будет нормальным при любом объеме выборки [5].

Многочисленные измерения тонины волокон многочисленных различных образцов шерсти показали, что при объемах выборки, а они варьировались от нескольких десятков до шести тысяч, результаты лежащих в пределах 350...2000 измерений с вероятностью, близкой к единице, точности измерений оказались практически неизменными. При объемах выборки, превышающих 2000 измерений, их точности практически не увеличиваются.

Основные характеристики (среднее значение, разброс и форма распределения) позволяют достаточно полно описать, наблюдать и анализировать свойства данных по тонине в процессе ее определения. Более глубокие исследования и их наглядность позволяют получить применение пяти рассмотренных выше базовых показателей для оценки симметричности распределения и иллюстрировать на диаграмме площадей [5].

За единицу измерения тонины в данном инструментальном методе принят пиксель. Перевод величины в мкм осуществляется путем масштабного коэффициента, полученного по результатам калибровки

прибора по эталонному образцу. По таким же образцам определяется экспериментальная погрешность прибора. В табл. 1 приведены данные сопоставления точ-

ности измерения тонины волокон шерсти с использованием различных инструментальных методов [1], [2], [6] данного прибора электронной микроскопии.

Т а б л и ц а 1

Инструмент (метод определения тонины)	Точность измерения (при уровне доверительной вероятности 95%), мкм; при тонине шерсти	
	20 мкм	35 мкм
Проекционный микроскоп	±0,87	±1,07
Air Flow	±0,45	±0,80
OFDA	±0,36	±0,67
Laserscan	±0,37	±0,70
Разработанный прибор на базе электронного микроскопа	±0,11	±0,10

## ВЫВОДЫ

Обоснован необходимый объем выборки при использовании прибора для измерения тонины шерсти на базе электронного микроскопа, не превышающего 2000 измерений и обеспечивающего необходимую по стандартам точность с доверительной вероятностью не ниже 0,95.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Разумеев К.Э.* Сырье для предприятий шерстяной отрасли промышленности. – М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2003.
2. ГОСТ 30702–2000. Шерсть. Торговая сельскохозяйственно-промышленная классификация.
3. *Разгонов Н.Т.* Методы и проблемы измерения тонины в отечественной практике // Мат. Междунар. научн.-практ. конф.: Современные достижения биотехнологии воспроизводства – основа повышения продуктивности сельскохозяйственных животных: СНИИЖК. Т.III. – Ставрополь, 2009. С.91...99.
4. *Крученецкий В.З., Калабина А.А., Крученецкий В.В.* К оценке времени загрузки Web-сайта дистанционного обучения // Вестник АТУ. Вып. 3. – Алматы, 2014. С.53...60.
5. *Левин М.Д., Стефан Д., Кребиль Т.С., Беренгсон М.Л.* Статистика для менеджеров с использованием Microsoft Excel, 4-е изд. / Пер с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2004.

6. *Белик Н.И.* Использование метода OFDA в измерении тонины шерсти // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2010, № 3. С. 39...41.

## REFERENCES

1. Razumeev K.E. Syr'e dlja predpriyatij sherstjanoj otrasli promyshlennosti. – M.: MGTU im. A.N. Kosygina, 2003.
2. GOST 30702–2000. Sherst'. Torgovaja sel'skohozjajstvenno-promyshlennaja klassifikacija.
3. Razgonov N.T. Metody i problemy izmerenija toniny v otechestvennoj praktike // Mat. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Sovremennye dostizhenija biotehnologii vosproizvodstva – osnova povyshenija produktivnosti sel'skohozjajstvennyh zhivotnyh: SNIIZhK. T.III. – Stavropol', 2009. S.91...99.
4. Krucheneckij V.Z., Kalabina A.A., Krucheneckij V.V. K ocenke vremeni zagruzki Web-sajta distancionnogo obuchenija // Vestnik ATU. Vyp. 3. – Almaty, 2014. S.53...60.
5. Levin M.D., Stefan D., Krebil' T.S., Berengson M.L. Statistika dlja menedzherov s ispol'zovaniem Microsoft Excel, 4-e izd. / Per s angl. – M.: Izdatel'skij dom "Vil'jams", 2004.
6. Belik N.I. Ispol'zovanie metoda OFDA v izmerenii toniny shersti // Ovtsy, kozy, sherstjanoe delo. – 2010, № 3. S. 39...41.

Рекомендована кафедрой дизайна. Поступила 31.08.16.