

На правах рукописи

**Куницын Роман Александрович**

**МЕТОД УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ ТОНИНЫ  
НЕУПОРЯДОЧЕННОГО ОБРАЗЦА МЕРИНОСНОЙ ШЕРСТИ**

Специальность 05. 20.02 - Электротехнологии  
и электрооборудование в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Барнаул - 2013**

Работа выполнена на кафедре «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: **Багаев Андрей Алексеевич**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Тищенко Андрей Иванович**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», кафедра «Электротехники и автоматизированного электропривода», профессор;

**Бастрон Андрей Владимирович**  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», кафедра «Электроснабжение сельского хозяйства», заведующий кафедрой.

Ведущее предприятие: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»,

Защита состоится «20» марта 2013 г., в 13<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 212.004.02 в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

<http://www.altstu.ru>; [ntsc@desert.secna.ru](mailto:ntsc@desert.secna.ru); [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru).

Тел./факс 8(3852) 36-71-29

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью Вашего учреждения, просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного совета.

Автореферат разослан «19» февраля 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Куликова Лидия Васильевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В настоящее время шерсть по-прежнему занимает ведущую позицию на текстильном сырьевом рынке, являясь основным видом сырья для большинства фабрик текстильной промышленности. С этим связана постоянная потребность в значительных партиях очищенной, мытой и однородной шерсти определенного класса, но в связи с прекращением существования Советского Союза основная сырьевая база шерсти осталась за пределами Российской Федерации. Отечественная сырьевая база таких регионов как Алтай, Забайкалье, Нижнее Поволжье, Северный Кавказ и др. не обеспечивают текстильную промышленность необходимым объемом сырья высокого качества.

Основным параметром, положенным в основу государственного стандарта классификации шерсти и формирования ее производственно-продажных партий, является тонина, принадлежность значения которой к тому или иному классу определяет качество продукции текстильной промышленности, закупочную цену шерсти и экономические показатели функционирования овцеводческого хозяйства.

Кроме того существующая практика переработки шерсти в России включает двух или трехэтапную систему подготовки производственно - продажных партий шерсти, а именно «овцеводческое хозяйство - фабрика первичной обработки шерсти (ПОШ)», либо «овцеводческое хозяйство - заготовительная или посредническая организация - фабрика ПОШ». При этом классировка шерсти и формирование производственно - продажных партий осуществляются на фабриках ПОШ без участия производителей, что снижает заинтересованность хозяйств в получении высококачественной шерсти.

Мировая и отечественная практика показывает, что наиболее перспективным направлением повышения эффективности первичной обработки шерсти является переход на одноэтапную систему её подготовки непосредственно в овцеводческих хозяйствах, что позволит обеспечить формирование однородных продажных партий шерсти.

Практическая реализация этой технологии затруднена в связи с отсутствием методов и технических средств оценки тонины обеспечивающих экспрессность анализа и статистически достоверную погрешность результата измерений.

Известные методы и технические средства оценки тонины (органолептический, оптический, пневматический и другие) не обеспечивают оперативности исследования, трудоемки, зачастую субъективны и, самое главное, не обеспечивают требуемой точности измерений, т.е. не способны выступать в качестве технологического фактора, позволяющего корректировать рацион и условия содержания овец для достижения требуемых показателей качества шерсти и не дающего однозначного ответа на принадлежность произведенной хозяйством партии шерсти к данному классу.

Известные ультразвуковые методы контроля параметров характеристик волоконных материалов, таких как лен и хлопок, так же не могут быть исполь-

зованы в указанных целях. Причиной этого является наличие специфических особенностей мериносовой шерсти, отличающих ее от растительных материалов: волокна имеют чешуйчатую структуру и покрыты жиропотом, образец шерсти обладает значительной неоднородностью волокон по тонине.

Таким образом, противоречие между производственной потребностью в наличии инструментальных средств экспресс контроля тонины и их отсутствием формируют научно-техническую проблему, решением которой может являться разработка метода и технического средства, обеспечивающих оперативность и точность измерения тонины.

Работа выполнена в соответствии с государственной программой «Развитие сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008 – 2012 годы. Научно-исследовательская тема «Разработка и совершенствование ультразвуковых преобразователей для неразрушающего контроля волокон животного и растительного происхождения в АПК» зарегистрирована в государственном регистрационном фонде ФГНУ «Центр информационных технологий и систем органов исполнительной власти» (Рег. № 01201175091).

**Целью работы** является повышение эффективности классировки шерсти путем разработки и применения метода и технического средства ультразвукового экспресс – контроля тонины шерсти, обеспечивающих высокую точность измерений и оперативность контроля.

Для достижения поставленной цели необходимо **решение следующих задач:**

- анализ известных способов и средств оценки тонины мериносовой шерсти;

- формулирование требований к методам и техническим средствам экспресс-контроля неупорядоченного образца мериносовой шерсти и выявление наиболее перспективных;

- выбор информативного критерия, обеспечивающего статистически значимую минимальную величину погрешности измерений и определение функциональной зависимости этого критерия от других значимых факторов;

- разработка метода (способа) экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти;

- разработка методики определения рационального сочетания параметров устройства для экспресс-контроля тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти, определяющего максимальное значение критерия обеспечивающего статистически значимую минимальную величину погрешности;

- разработка конструкции устройства, обеспечивающей исключение влияния на погрешность измерений параметров окружающей среды и других внешних возмущений, оценка инструментальной погрешности предлагаемого метода и технического средства определения тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти;

- разработка методики экспресс-анализа тонины шерсти в условиях производства, производственная проверка и экономическая оценка предлагаемых решений.

**Объект исследования** - методы и технические средства ультразвукового контроля тонины мериносовой шерсти.

**Предмет исследования** – закономерности распространения ультразвуковой волны в пространственно ограниченном измерительном канале, заполненным неупорядоченным образцом волоконного материала.

**Методы исследований.** Методы теории дифференциально-интегрального исчисления, методы итерационного исчисления, методы теории анализа функций, методы теории планирования активного эксперимента и регрессионного анализа, методы теории случайных процессов, теории вероятностей и статистической теории обработки экспериментальных данных.

**Научную новизну представляют:**

-новый метод экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти, основанный на принципе измерения степени затухания амплитуды ультразвуковой волны, проходящей последовательно через четыре грани прямоугольного образца шерсти, и последующего определения среднеарифметического значения.

- оригинальная методика определения рационального сочетания частоты ультразвуковой волны, полуширины измерительного канала и угла наклона приемника акустических колебаний, совокупность которых обеспечивает максимальное значение звукового давления и, следовательно, высокую точность измерений.

**Практическую ценность работы представляют:**

- конструкция ультразвукового устройства, исключая влияние на погрешность измерений параметров окружающей среды и вибрационных колебаний во время процесса измерений и предусматривающая наличие заполненного эталонным образцом шерсти известной тонины реперного канала и оригинального крепления приемника в обойме из пористой резины;

- частный случай возможной реализации множества вариантов конструктивных параметров ультразвукового устройства для экспресс-анализа тонины шерсти в условиях производства: частота ультразвуковых колебаний - 150 кГц, полуширина измерительного канала - 5 мм, угол наклона приемника по отношению к продольной оси канала -  $48^{\circ}$ ;

- оригинальная методика экспресс-анализа тонины шерсти в условиях производства;

- рекомендации по при применению разработанного ультразвукового способа, технического средства и методики экспресс-контроля тонины мериносовой шерсти.

**Реализация и внедрение результатов работы.**

Разработанная методика и ультразвуковое устройство экспресс-анализа тонины мериносовой шерсти прошли производственные испытания в ОАО Племсовхоз «Степное» Родинского района Алтайского края.

Научные положения, выводы и рекомендации использованы при разработке проектно-технологических и практических рекомендаций «Ультразвуко-

вой способ, техническое устройство и методика экспресс-анализа тонины мериносковой шерсти», одобренных и принятых к использованию Главным управлением сельского хозяйства администрации Алтайского края.

Методические рекомендации и устройство используются в учебном процессе при проведении лабораторных работ по курсу «Светотехника и электро-технологии» в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на:

V международной научно-практической конференции «Аграрная наука - сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 17-18 марта 2010 г.);

II этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ Сибирского федерального округа номинации «Технические науки» (г. Красноярск, 16 апреля 2010 г.);

III этапе Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ Сибирского федерального округа номинации «Технические науки» (г. Саратов, 24-26 мая 2010 г.);

VI международной научно-практической конференции «Аграрная наука - сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 3-4 февраля 2011 г.);

IV международной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки» (г. Красноярск, 25-28 апреля 2011 г.);

научно-практической конференции молодых ученых «Научные достижения производства» (г. Иркутск, 20-22 апреля 2011 г.);

X региональной научной студенческой конференции аграрных вузов Сибирского федерального округа «Научные основы развития АПК», (г. Барнаул, 25-27 апреля 2011 г.);

VII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 2 февраля 2012 г.);

международной научно-практической конференции «Развитие инновационной деятельности в АПК региона» (г. Барнаул, 13 сентября 2012 г.)

Работа удостоена диплома 1 степени в X региональной научной студенческой конференции аграрных вузов Сибирского федерального округа «Научные основы развития АПК», (г. Барнаул, 25-27 апреля 2011 г.) и диплома 3 степени II этапа Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых высших учебных заведений Министерства сельского хозяйства РФ Сибирского федерального округа в номинации «Технические науки» (г. Красноярск, 16 апреля 2010 г.).

**На защиту выносятся следующие основные положения:**

1. Новый метод экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносковой шерсти, основанный на принципе измерения степени затухания амплитуды ультразвуковой волны, проходящей последовательно через четыре грани

прямоугольного образца шерсти, и последующего определения среднеарифметического значения.

2. Математическая модель и методика определения рационального сочетания частоты ультразвуковой волны, полуширины измерительного канала и угла наклона приемника акустических колебаний, совокупность которых обеспечивает максимальное значение звукового давления и минимальную погрешность измерений.

3. Оригинальный аппаратный комплекс для проведения экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти.

4. Результаты теоретических и экспериментальных исследований.

5. Методика определения тонины мериносовой шерсти в производственных условиях.

**Публикации.** По материалам диссертационных исследований опубликовано 11 работ, в том числе, 3- в изданиях по перечню ВАК, а также получен патент на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 176 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунков, 18 таблиц, 4 приложения. Список литературы включает 95 наименования.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, определены цель и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту, дана общая характеристика работы.

**В первой главе «Анализ методов и средств контроля качества мериносовой шерсти»** проведен анализ физических параметров волокон шерсти как сырья текстильной промышленности, выявлены достоинства и недостатки существующих методов их контроля, сформулированы требования к техническим средствам контроля тонины шерсти и определены основные направления повышения точности измерения.

Тонина - один из важных признаков в оценке и классификации шерсти овец. Именно этот фактор определяет в конечном итоге технологическую ценность, прядильные свойства шерсти и физико-механические свойства производимой из нее пряжи.

Применяемые в настоящее время методы (таблица 1) имеют ряд существенных недостатков: невысокая точность измерений, высокая стоимость аппаратуры, большая трудоемкость и др.

Одним из наиболее перспективных способов оценки тонины шерсти является ультразвуковой неразрушающий метод контроля. Сущность метода заключается в изменении амплитуды, фазы или скорости распространения ультразвуковой волны при ее прохождении через волоконный материал.

Таблица 1 - Классификация методов неразрушающего контроля тонины волоконных материалов

Метод контроля	Недостатки
Электрический (емкостной)	Неспособность исследования физико- механических свойств образца
Оптический	Необходимость обеспечения оптической прозрачности, сложность подготовки образца, трудоемкость проведения исследования
Органолептический	Не высокая точность, потребность в квалифицированном персонале, субъективность измерения
Сравнительный	Трудоемкость, потребность в квалифицированном персонале
Радиационный	Сложность в производстве и повышенная опасность при эксплуатации
Пневматический	Негативное воздействие на объект измерения в процессе измерения
Колориметрический	Сложность подготовки образцов, потребность в персонале высокой подготовки, специализированном оборудовании и реактивах
Кондуктометрический	Невысокая информативность, высокая погрешность измерения
Акустический	Восприимчивость к изменениям окружающей среды и качеству подготовки образца

Многочисленные исследования, проведенные Л.П.Ладыниной, Е.Г.Эйгес, Г.Н.Кукиным, С.С.Ивановым, В.В.Клюевым, М. Магитт, К. Эсау Г.Н. Иливановым, П.Н. Бобровым, В.А. Цымбалистом, Ц.И. Калининым, Н.П. Воробьевым, А.Ф. Костюковым и др. показали принципиальную возможность создания устройств контроля качества волоконных материалов с использованием ультразвукового метода контроля.

Регистрация изменения фазы и скорости волны сопряжены с жесткими требованиями к качеству подготовки образца, которые отражаются на точности измерений. Амплитудный метод контроля менее восприимчив к подготовке образца и принят как базовый для разработки устройства контроля тонины шерсти.

Проведенный анализ позволил сформулировать требования к техническим средствам измерения, представленные на рисунке 1.

Наиболее значимым требованием из числа перечисленных в таблице на рисунке 1 является повышение точности контроля тонины.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• простота изготовления</li> <li>• низкая стоимость</li> <li>• простота и информативность индикации измеряемой величины</li> </ul>
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• исключение воздействия параметров окружающей среды на результаты измерений</li> <li>• быстроедействие, чувствительность и высокая разрешающая способность</li> <li>• доступность формы индикации, не требующей дополнительного анализа</li> <li>• возможность проводить анализ неупорядоченных волокон в массе</li> <li>• безопасность для персонала</li> <li>• нетребовательность к уровню подготовки персонала</li> <li>• устойчивость к изменению условий внешней среды</li> <li>• погрешность измерений тонины, не превышающая <math>\pm 2,5\%</math></li> </ul>

Рисунок 1 – Требования к техническим средствам экспресс-контроля тонины шерсти

Установлено, что точность результатов измерений обеспечивают:

- максимальное значение акустического давления на приемном элементе;
- минимизация влияния на результат измерений внешних возмущений (параметров окружающей среды);
- уменьшение во время процесса измерения пространственных колебаний источника и приемника ультразвуковой волны.
- оптимизация конструкции и пространственного позиционирования приемника ультразвуковых колебаний;
- возможность применения методов статистической обработки результатов измерений.

Глава вторая «Теоретическое обоснование рациональных параметров измерительного канала и путей минимизации погрешностей измерений» посвящена обоснованию основных положений методики определения рационального сочетания параметров акустической волны, геометрических размеров измерительного канала и пространственных координат позиционирования воспринимающего приемника в прямоугольной системе координат.

Установлено, что амплитуда и фазовый угол акустической волны определяют давление акустической волны и, следовательно, являются количественными характеристиками удельной чувствительности приемной поверхности.

В условиях нерегулярности (неупорядоченности) образца исследуемого материала и в соответствии с целью работы контролирование фазового угла не представляется перспективным.

В связи с этим, в качестве характеристики удельной чувствительности приемной поверхности принято акустическое давление, эффективное значение которого определяется амплитудой акустической волны.

Однако в силу того, что исследуемая среда (шерсть) характеризуется пространственной нерегулярностью, удельная чувствительность (звуковое давление) приемной поверхности распределяется также неравномерно.

Повышение равномерности распределения удельной чувствительности (акустического давления) по поверхности приемника является одним из способов минимизации погрешности измерений тонины волоконного материала.

Максимальная величина удельной чувствительности (звукового давления) может быть обеспечена путем принудительного позиционирования приемника в пучности акустической волны, например, с помощью виньерного устройства, что является процессом эмпирическим, субъективным и требующим высокой квалификации оператора. Другим известным способом повышения удельной чувствительности является изменение наклона приемной поверхности относительно продольной оси  $x$  датчика (Рисунок 1).

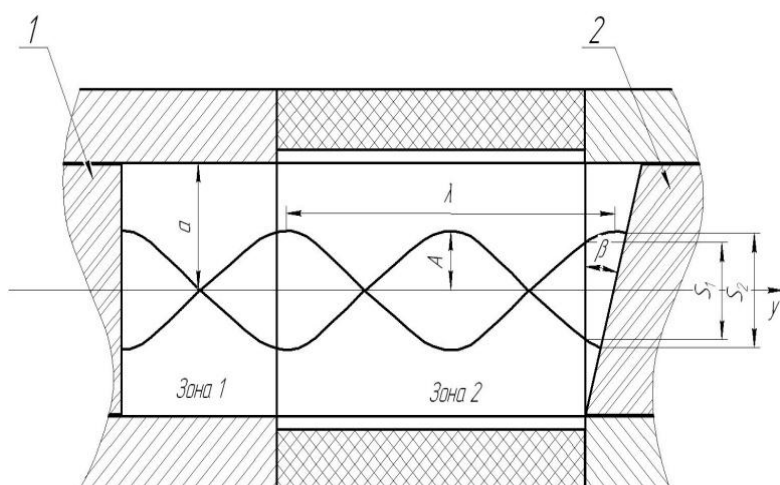


Рисунок 1 - Акустический тракт датчика с наклонным расположением приемной поверхности: 1 – излучатель; 2 – приемник;  $a$  – половина ширины волноводной части;  $\beta$  – угол наклона приемника;  $\lambda$  – длина волны.

Мгновенное значение среднего акустического давления на приемник, отклоненный на угол  $\beta$  от оси  $x$ :

$$P_{cp} = \frac{4P_0}{k \operatorname{ctg} \beta} \sin^2, \quad (1)$$

где  $\beta$  – угол наклона приемника;  $P_0$  – звуковое давление по оси  $x$  приемника;  $a$  – полуширина измерительного акустического канала;  $k$  – волновой коэффициент,  $k = 2\pi$ , где  $c$  – скорость звука,  $f$  – частота.

На рисунке 2 представлена графическая интерпретация решения выражения (1), где давление представлено в относительных единицах  $P_{cp}/P_0$ . При расчетах принято следующее допущение:  $P_0=1$ .

Диапазон изменения коэффициента  $ak$  принят в пределах от 7,48 до 26,18. Основанием является анализ литературных источников, в соответствии с которым для практических исследований полуширина канала  $a$  и частота акустического сигнала  $f$  должны изменяться в следующих пределах:  $a=(4...7)$  мм,  $f=(100...200)$  кГц.

Условием минимизации погрешности измерений в условиях нерегулярной среды является  $P_{cp} \rightarrow \max$ .

При этом графики зависимостей на рисунке 2 свидетельствуют о следующем: с увеличением угла наклона приемника максимальное среднее давление,

оказываемое на единицу площади приемника, снижается. При этом характер процесса затухания и его периодичность зависят от коэффициента  $ak$ , где  $a$  - полуширина канала,  $k$  – волновой коэффициент.

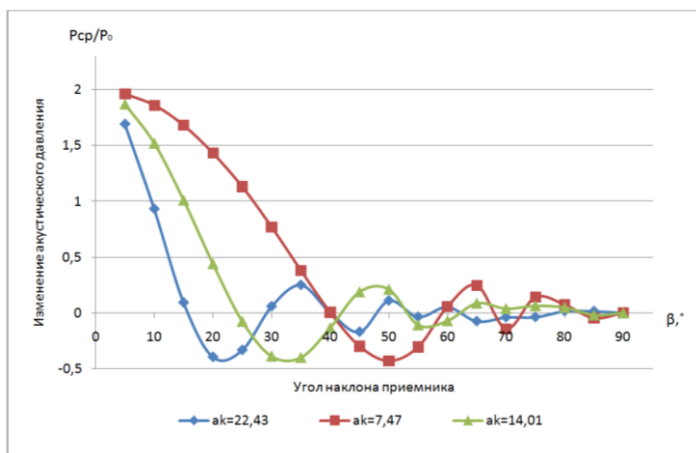


Рисунок 2 – Зависимость относительного значения среднего давления  $P_{cp}/P_0$  от угла наклона приемника при различных значениях коэффициента  $ak$ , где  $a$  - полуширина канала,  $k$  – волновой коэффициент.

Выражение (1) позволяет определить мгновенное значение  $P_{cp}$ , но не дает ответа на вопрос: при каких значениях угла обеспечивается достоверное выполнение условия  $P_{cp} \rightarrow \text{мах}$  при  $P_{cp} > 0$  с учетом технологических погрешностей позиционирования приемника по оси  $x$  и углу  $\beta$ .

Условием существования экстремума среднего давления  $P_{cp}$  (см. (1)) в функции угла наклона приемника является:

$$\frac{dP_{cp}}{d\beta} = \left( \frac{4}{aktg\beta} \right)' * \sin \frac{aktg\beta}{2} + \frac{4}{aktg\beta} * \left( \sin \frac{aktg\beta}{2} \right)' . \quad (2)$$

В результате последующих математических преобразований получено уравнение следующего вида:

$$\frac{2}{ak} tg \left( \frac{aktg\beta}{2} \right) = t_i . \quad (3)$$

С учетом принятого в работе обозначения ( $t_i = tg\beta$ ) уравнение (3) принимает вид:

$$z = \frac{2}{ak} arctg \left( \frac{t_i}{2} \right) . \quad (4)$$

Уравнение (4) трансцендентное и не имеет аналитического решения, но может быть решено итерационным способом, для этого проанализируем правую часть уравнения (4).

В общем случае, с учетом периодичности функции  $arctg$ , правая часть выражения принимает вид для  $i$ -того интервала определения

$$f(z) = (i - 1) \frac{2\pi}{ak} + \frac{2}{ak} arctg \left( \frac{t_i}{2} \right) . \quad (5)$$

При этом уравнение (5) имеет бесконечное число корней, из которых интерес представляют лишь те, которые обеспечивают максимальное положительное значение акустического давления.

Областью определения положительных значений функции правой части (5) являются интервалы  $\left[ (i - 1) \frac{2\pi}{ak}; (2i - 1) \frac{2\pi}{ak} \right)$ , где  $i$  - порядковый номер интервала определения функции  $arctg$ .

Для оценки возможности применения итерационных методов в работе доказана принадлежность (5) к классу функций, являющихся сжимающими

отображениями на интервале  $[Z_{min}; +\infty]$ , необходимым и достаточным условием которого является выполнение условия  $f < 1$ :

$$|f'(z)| = \left| \frac{2}{ak} * \frac{1}{1 + \left(\frac{ak}{2}z\right)^2} * \frac{ak}{2} \right| = \left| \frac{1}{1 + \left(\frac{ak}{2}z\right)^2} \right| < \frac{1}{1 + \left(\frac{ak}{2}z\right)^2 z^2_{min}}$$

Методика определения корней уравнения (5) и углов  $\beta^{(i)} = \arctan$  итерационным методом с последующим нахождением среднего значения акустического давления в соответствии с (1) для каждого и алгоритм вычисления угла, при котором  $P_{cp}$  принимает максимальное значение, представлен в виде программы для ЭВМ и описаны блок-схемой.

На рисунке 3 представлены результаты вычисления мгновенного значения среднего акустического давления в зависимости от угла позиционирования приемника для десяти интервалов ( $i=10$ ) при  $\alpha=14$ . Как следует из таблицы на рисунке 3 максимальное среднее давление наблюдается при  $\beta \rightarrow 0$ . В диссертационной работе этот вариант позиционирования приемника подробно рассмотрен. Для этого найден предел среднего максимального давления, определяемого выражением (1), при  $\beta \rightarrow 0$ , с использованием правила Лопиталя раскрыта неопределенность вида "0/0" и доказано, что при  $\beta \rightarrow 0$  относительное значение максимального среднего давления  $P_{cp}/P_0$  равно 2 при любом коэффициенте.

```

Полуширина канала =? 5
Частота =? 150
Погрешность определения корня =? 0.05
Задание начала процесса =? 0.0001
ak= 14.01786

```

* № *	* угол *	* давление *
* 1 *	* 0.01 *	* 2.00 *
* 2 *	* 32.15 *	* -0.43 *
* 3 *	* 47.69 *	* 0.26 *
* 4 *	* 57.25 *	* -0.18 *
* 5 *	* 63.52 *	* 0.14 *
* 6 *	* 67.87 *	* -0.12 *
* 7 *	* 71.04 *	* 0.10 *
* 8 *	* 73.43 *	* -0.08 *
* 9 *	* 75.30 *	* 0.07 *
* 10 *	* 76.80 *	* -0.07 *

Рисунок 3 – Таблица результатов расчета максимального среднего акустического давления в зависимости от угла наклона приемника  $\beta$

Однако при создании прибора всегда существуют технологическая погрешность позиционирования по оси  $x$  и позиционирования  $\Delta\beta$  по углу установки  $\beta$  приемника (рисунок 4).

Кроме того, из графика на рисунке 2 следует, что при малых значениях угла наклона приемника  $\beta$  график среднего значения  $P_{cp}$  является круто падающим, т.е. при незначительном изменении угла наклона приемника происходит значительное изменение величины среднего давления, что приводит к увеличению погрешности измерения.

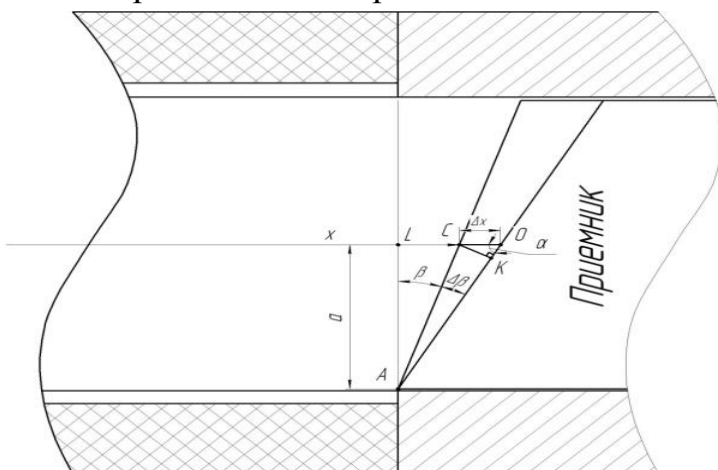


Рисунок 4 - Геометрические параметры приемника и погрешности позиционирования по оси  $x$  и углу  $\beta$ :  $a$  – половина ширины волноводной части;  $\beta$  – угол наклона приемника;  $\Delta x$  – погрешность позиционирования приемника по оси  $x$ ;  $\Delta\beta$  – погрешность позиционирования приемника по углу  $\beta$ .

В диссертации установлена взаимосвязь ошибки среднего акустического давления от угла наклона  $\beta$  и погрешности позиционирования приемника по углу :

$$\Delta P = \frac{4}{aktg\beta} \sin \frac{ka}{2} tg\beta - \frac{2}{aktg(\beta-\Delta\beta)} \left( \sin \left[ \frac{ka}{2} tg\beta + \frac{\pi f a \sin\beta}{c \cos(\beta+\Delta\beta)} \right] - \left( \sin \left( \frac{ka}{2} tg\beta + \frac{\pi f a \sin\beta}{c \cos(\beta+\Delta\beta)} \right) - aktg(\beta+\Delta\beta) \right) \right) \quad (5)$$

На рисунке 5 приведены зависимости  $P_{cp}/P_o=f(\beta)$  и  $\Delta P_{cp}=f(\beta)$  для  $ak=14$ . Зависимость  $P_{cp}/P_o=f(\beta)$  построена с использованием выражения (1), а  $\Delta P_{cp}=f(\beta)$  – с использованием (5).

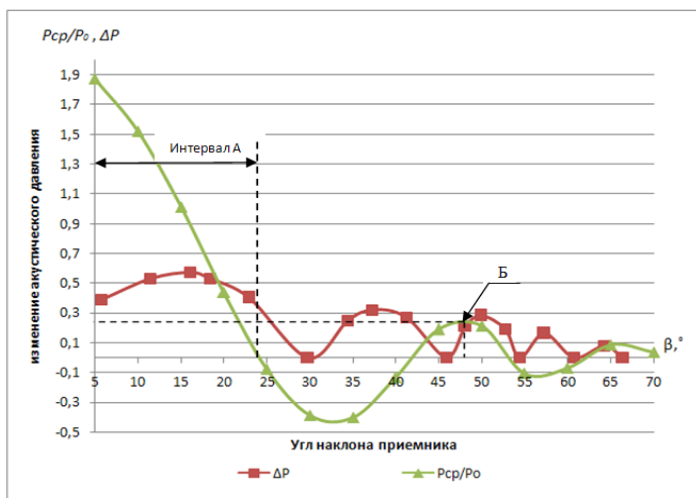


Рисунок 5 – Графики зависимостей  $P_{cp}/P_o=f(\beta)$  и  $\Delta P_{cp}=f(\beta)$ .

В точке второго максимума акустического давления ( $\beta \approx 48^\circ$ ) погрешность давления в 1,7 и более раз меньше по сравнению с погрешностями принадлежащими интервалу А, в котором угол принимает значения от 0 до  $25^\circ$ .

Расчеты показали, что аналогичная картина наблюдается и при

других  $ak$  в диапазоне от 7 до 25. Для любого значения  $ak$  в указанном диапазоне не можно утверждать, что при определении угла наклона, обеспечивающего максимальное значение среднего акустического давления, следует рассматривать третий интервал ( $i=3$ ) области определения функции  $f(z) = \frac{2}{ak} \arctg z$

(а именно,  $\left[ (i-1) \frac{2\pi}{ak}; (2i-1) \right]$ , в котором давление является положительным. Используя методику, изложенную выше, были рассчитаны значения максимального среднего давления и угла наклона приемника в зависимости от коэффициента  $ak$ , представленные на рисунке 6.

Анализ результатов, представленных на рисунке 6, показывает, что максимальное среднее давление остается постоянным в широком диапазоне изменения параметра  $ak=(7...25)$ .

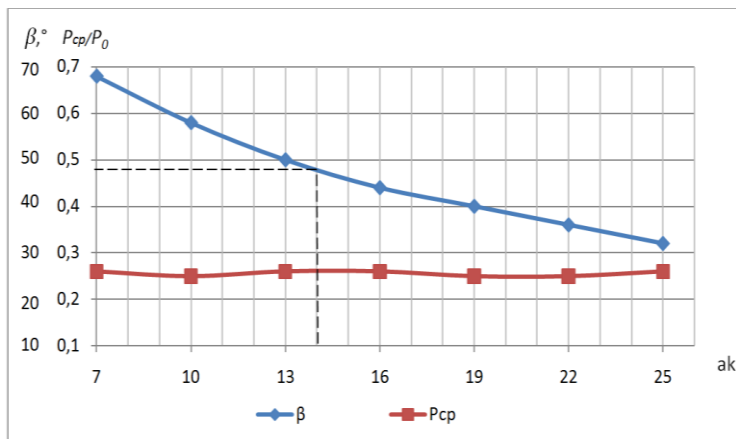


Рисунок 6 – График зависимости угла наклона  $\beta$  и максимального среднего давления  $P_{cp}$  от значения коэффициента  $ak$ .

В частности при  $ak=14$  угол наклона составляет  $\approx 48^\circ$ . Из этого следует, что в соответствии с формулой  $k = 2\pi f/c$ ,



где  $k$  - волновое число,  $c$  – скорость звука,  $f$  – частота при частоте 150 кГц полуширина канала  $a$  составляет 5 мм. Геометрические параметры акустического канала для заданной частоты могут быть определены и для других значений коэффициента  $ak$ . Указанные значения частоты волны угла наклона приемника и полуширины канала использованы при разработке конструкции датчика.

Целью третьей главы «Конструкция ультразвукового датчика и электронного блока для оценки тонины мериносовой шерсти» является разработка ультразвукового устройства для оценки тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти и блока индикации результатов измерения, технические характеристики которых удовлетворяют требованиям, представленным в главе 1, и способных реализовать сформулированные в гл.2 методики уменьшения погрешности измерения.

На рисунке 7 представлена структурно-функциональная схема устройства для ультразвукового экспресс-контроля тонины шерсти. Схема содержит генератор опорной частоты 1, интегрирующий усилитель совмещенный с усилительным компрессором -2, пьезоизлучатель 3, приемники акустических колебаний 4 и 5, образец исследуемого волоконного материала 12; усилители 6 и 9, источник опорного сигнала 7, формирователь сигнала АРУ 8, регистрирующий прибор 10.

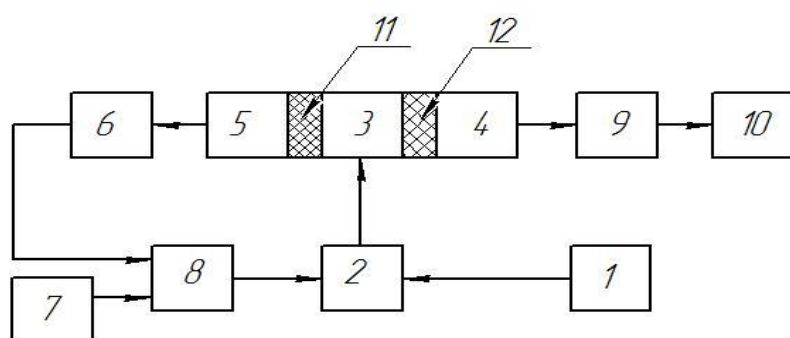


Рисунок 7 – Структурно-функциональная схема устройства для ультразвукового экспресс-контроля тонины шерсти.

Основными элементами устройства являются датчик (блоки 1,2,3,4) и

регистрирующий прибор 10. Устройство отличается наличием двух каналов: измерительного (блоки 4,9,10) и реперного (блоки 5,6,7,8).

Акустические колебания в измерительном канале датчика ослабляются в функциональной зависимости от параметров волоконного продукта 12 и преобразуются в приемнике 4 в электрические сигналы, которые усиливаясь в блоке 9, поступают на цифровой регистратор 10.

В реперном канале акустические колебания, изменяясь по амплитуде и фазе под действием окружающей среды, принимаются приемником 5, усиливаются усилителем 6 и поступают на вход блока 8 фазовой автоподстройки частоты и корректируются генератором сигнала 2, компенсируя влияние внешних возмущений и, тем самым, поддерживают постоянную интенсивность излучения акустических колебаний в канале датчика.

Датчик (рисунок 8) содержит разъемный корпус 1, в который встроены излучатель 2, приемник 3 и дополнительный приемник реперного канала 4.

Излучатель 2 представляет собой пьезопреобразователь двухстороннего излучения. Приемник 3 выполнен в виде одностороннего пьезопреобразователя. Измерительный канал 6 и реперный канал 5 соединяют излучатель 2 с при-

емником 3 и дополнительным приемником 4.

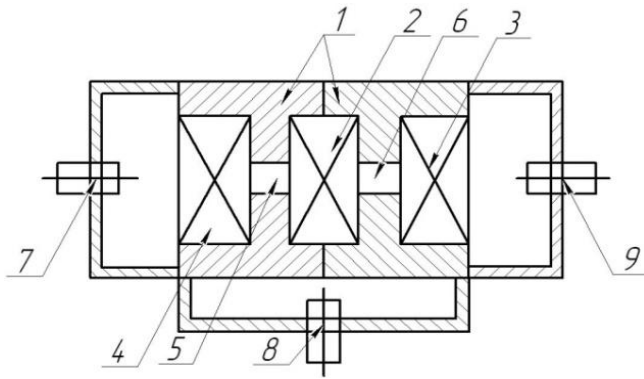


Рисунок 8 – Схема ультразвукового датчика: 1 – корпус; 2 – излучатель; 3 – приемник; 4-дополнительный приемник; 5 – реперный канал; 6-измерительный канал; 7-9 – электроразъемы.

В измерительный канал 6 помещается исследуемое волокно, в реперный канал 5 укладывается эталонный образец упорядоченной исследуемой шерсти с известной средней гостигруемой тониной, что позволяет проводить измерения ультразвукового затухания с учетом изменения окружающей среды, проходящим через волоконный материал. Через разъем 9 подается сигнал ( $U_c$ ) на измерительный прибор, где происходит его обработка и индикации.

В качестве материала источника и приемника датчика выбрана пьезокерамика типа ЦТС -19, характеризующаяся повышенными механической добротностью и диэлектрической проницаемостью, обладающая низкими электрическими и механическими потерями, слабовыраженной нелинейностью.

Для повышения температурной стабильности и фиксирования положения излучателя и приемника излучения разработана конструкция излучателя. Отличительной особенностью конструкции является фиксация пьезоэлемента в кожухе из вспененной резины, что позволяет повысить точность установки пьезоэлементов источника и приемника по отношению к продольной оси датчика, снижает колебательность устройства во время работы, расширяет область резонансных частот и улучшает температурную стабильность излучателя.

Для реализации сформулированных в гл.2 способов повышения точности измерений тонины неупорядоченного образца шерсти конструкция приемника ультразвукового датчика предусматривает его установку под углом  $48^{\circ}$  к продольной оси (Рисунок 9). Значение выбранного угла наклона соответствует полуширине измерительного канала составляющей 5 мм и частоте колебаний 150 кГц.

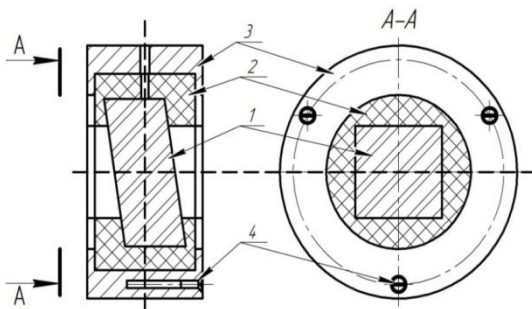


Рисунок 9 – Конструкция приемника с наклонным пьезоэлементом: 1 – пьезоэлемент; 2 - резиновый кожух; 3 – латунная гильза; 4 – винтовое соединение.

Для фиксации исследуемого образца шерсти, исследования влияния объемной плотности волокна на результат измерений и обеспечения возможности прозвучивания исследуемого образца с четырех сторон разработана специальная конструкция лотков-держателей, представляющая собой жесткий, но акустически прозрачный каркас (Рисунок 10).



С целью усиления стабильности генерируемого сигнала разработана схема блока генератора 1 (рисунок 7) на основе моста Винна.

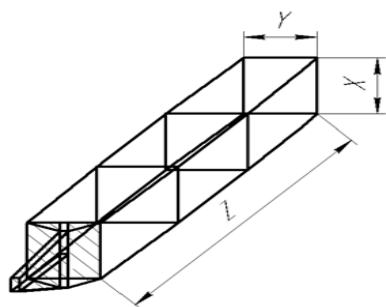


Рисунок 10 – Конструкция лотка - держателя контролируемого образца:  $X$  – высота,  $Y$  – ширина,  $L$  – длина лотка.

На рисунке 11 приведена схема цифрового преобразователя, которая позволяет преобразовать аналоговый сигнал датчика в числовые значения тонины.

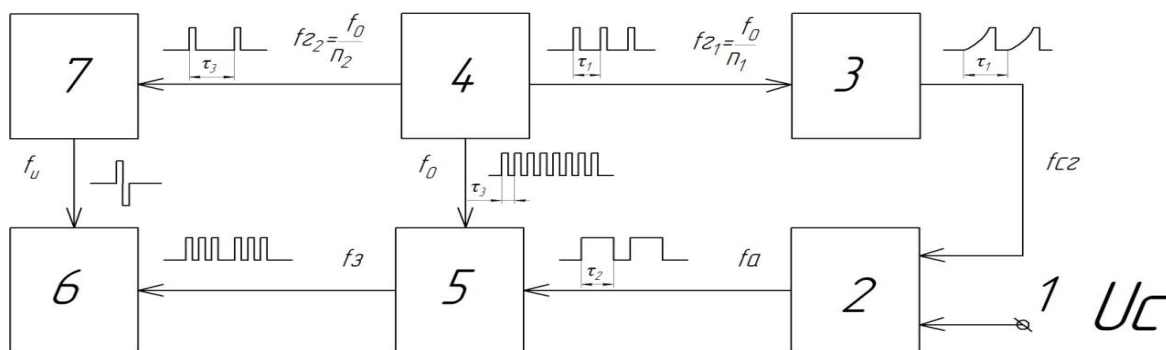


Рисунок 11 – Блок – схема работы цифровой преобразователя сигнала: 1 – клемма подключения сигнала датчика, 2 - аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), 3 – генератор сигналов специальной формы, 4 - тактовый генератор, 5 – блок заполнения счетными импульсами, 6 - цифровой блок индикации, 7 – таймер,  $U_c$  – аналоговый сигнал датчика,  $fc_2$  – периодический специальный сигнал генератора,  $f_{21}$  – колебания импульсов запуска генератора 3,  $f_{22}$  – импульсы запуска таймера 7,  $f_u$  – импульсы обнуления блока индикации 6,  $f_0$  - тактовые импульсы генератора 4,  $f_a$  - сигнал АЦП 2,  $f_z$  - цифровой сигнал индикации.

Усовершенствована схема блока 3, назначением которого является генерирование сигнала специальной эмпирически полученной формы.

Изменена схема таймера блока индикации 7, что позволило уменьшить время измерения.

Разработана схема конвертирования сигнала в численные значения тонины.

На рисунке 12 представлен внешний вид устройства для экспресс-контроля тонины мериносовой шерсти.

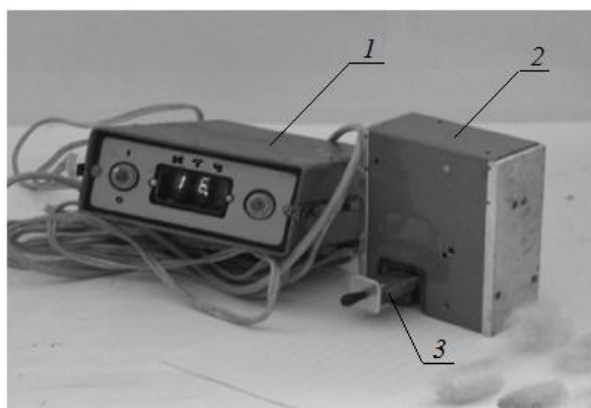


Рисунок 12 - Внешний вид установки ультразвукового экспресс-контроля тонины мериносовой шерсти: 1- цифровой блок обработки сигнала и индикации; 2- ультразвуковой датчик; 3 - лоток-держатель.

В четвертой главе «**Результаты экспериментальных исследований влияния параметров волоконного материала и измерительного канала на зако-**

**номерности распространения акустической волны и погрешность измерений»** подтверждена возможность применения амплитудного метода для оценки тонины волоконного материала, получена эмпирическая математическая модель зависимости падения акустического давления от диаметра волокна и массы образца при постоянной частоте, исследовано влияние объемной плотности волоконного материала на степень затухания амплитуды ультразвуковой волны и угла наклона приемника на величину амплитуды сигнала, приведена оценка совокупной инструментальной погрешности измерения тонины мериносовой шерсти.

С целью упрощения и формализации исследования по установлению основных закономерностей распространения ультразвуковой волны в волоконном материале была разработана методика анализа акустического затухания на основе сетчатой модели. Методика заключается в следующем: акустический канал заполняется синтетической сеткой с диаметром волокон от 20 до 100 мкм в однородном и смешанном наборе, производится прозвучивание и оценивается степень затухания ультразвуковой волны. Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

- величина акустического сигнала достаточна для прозвучивания волокон в диапазоне тонины [20-100 мкм];
- на частоте излучения 150 кГц характер затухания волн при различной тонине идентичен и может быть описан логарифмической;
- величина затухания обратно пропорциональна тонине волокон;
- на величину затухания оказывает влияние процентное соотношение в образце волокон различного диаметра;
- неравномерность распределения тонины волокон образца по оси распространения волны не значительно искажает величину затухания.

Целью реализации полнофакторного эксперимента является получение и анализ математической модели, описывающей зависимость акустического давления преобразованного пьезоэлементом в электрический сигнал  $U, мВ$ , при прохождении ультразвуковой волны через волоконный материал. В качестве факторов выбраны следующие: диаметр волокна  $d$ , (диапазон изменения  $d=(20\dots100)мкм$ ), масса образца  $m$ , (диапазон изменения  $m=(150\dots650)мг$ ), выходной параметр  $U$ .

В результате обработки экспериментальных данных и оценки значимости коэффициентов получено следующее уравнение регрессии:

$$U = -1,96d - 1,674m + 0,022dm + 2,02 * 10^{-3}m^2 - 0,229 * 10^{-4}dm^2 + 251,6 \quad (6)$$

Поверхность отклика, описывающая зависимость сигнала  $U$  от диаметра волокна  $d$  и массы образца  $m$ , представлена на рисунке 13.

При  $m = C=const$  (6) принимает вид;

$$U = (5,73C^2 + 7,553C + 0,805)d + (275,4C^2 - 782,06C + 2. \quad (7)$$

На рисунке 14 представлены зависимости изменения сигнала  $U$  от диаметра волокна  $d$  при различной массе  $m$ .

При  $d = \text{const}$ :

$$U = (-0,1834C - 0,0274)m^2 + (56,22C - 48,062)m + (3957,3 - 4242,46C). \quad (8)$$

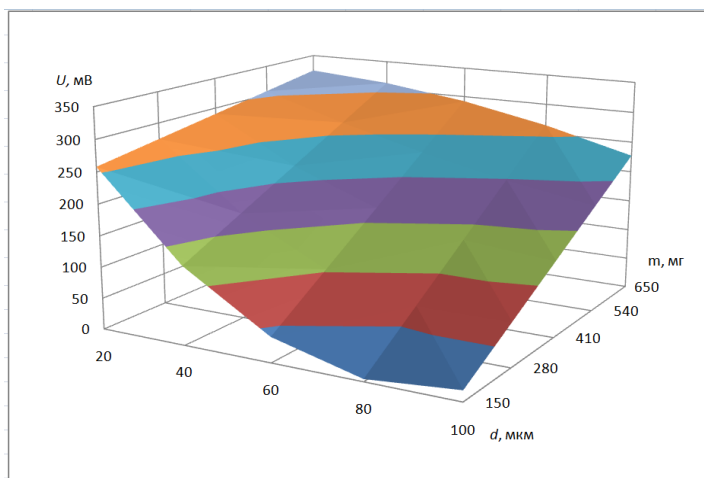


Рисунок 13 – Зависимость изменения величины сигнала  $U$  от изменения массы и диаметра образца

На рисунке 15 изображены графики зависимости величины сигнала  $U$  от массы образца  $m$  при различных значениях диаметра волокон  $d$ .

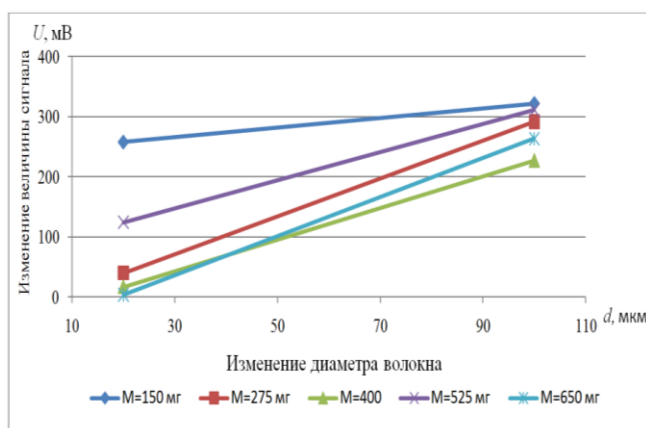


Рисунок 14 – Зависимость изменения сигнала  $U$  от диаметра волокна  $d$  при различной массе  $m$ .

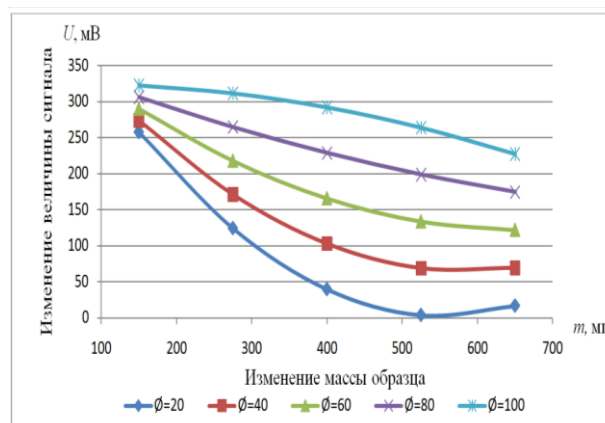


Рисунок 15 – График зависимости сигнала  $U$  от массы образца  $m$  при различных диаметрах волокна  $d$

Для выявления зависимости изменения акустического затухания от сжатия волокна проведены эксперименты для четырех значений удельной плотности образца при массе образца 150 мг. Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунке 16.

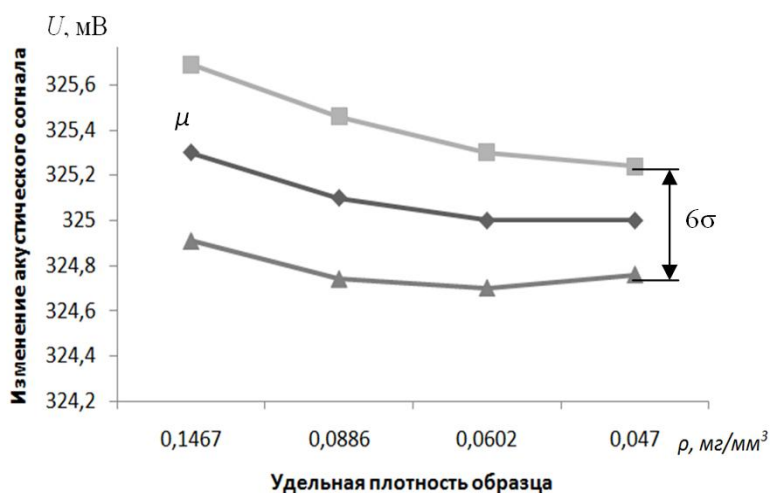


Рисунок 16 – Зависимость изменения математического ожидания акустического сигнала  $\mu$  и диапазона среднеквадратического отклонения  $3\sigma$  от удельной плотности образца  $\rho$

Математическое ожидание изменения акустического сигнала  $U = 325,2$  мВ является практически линейной зависимостью. Поскольку погрешность измерительного прибора составляет  $\pm 2,0\%$ , можно утверждать, что все значения погрешности экспериментальных данных находятся в диапазоне погрешности прибора. Следовательно, объемная плотность образца в достаточно широком диапазоне практически не влияет на результат измерения.

Для оценки влияния угла наклона приемника и длины измерительного канала  $L$  на степень затухания акустического сигнала было использовано сравнение с идеальным приемником. Результаты представлены на рисунке 17.

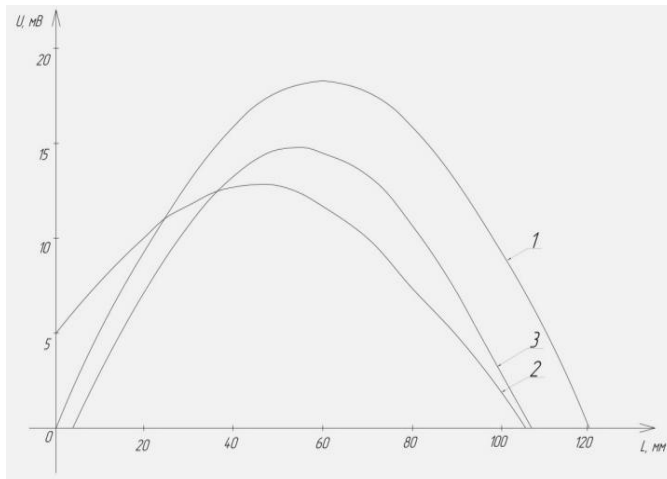


Рисунок 17 – Зависимости изменения акустического сигнала  $U$  от длины измерительного канала  $L$ : 1 – идеальный приемник; 2 – приемник с углом наклона  $=0$ ; 3 – приемник с углом наклона  $=48$ .

Графики на рисунке 17 аппроксимированы следующими

зависимостями:  $\Delta U_1 = 18,1 \sin 1,6L$  для идеального приемника,  $\Delta U_2 = 16,5 \sin 1,81L$  - для приемника с углом наклона  $=0$ ,  $\Delta U_3 = 7,5 \sin 2,25L$  - для приемника с углом наклона  $=48^0$ .

Сравнение приемников с углом наклона  $=0$  и  $=48^0$  с идеальным осуществлено с помощью непрерывного аналога среднеквадратического отклонения

$\delta(U_1, U_2) = \int_0^{100} (U_1 - U_2)^2$ , результаты расчета которого имеют следующий вид:  $\delta(U_1, U_2) = 29889$  - среднеквадратическое отклонение результатов измерения затухания акустической волны в канале с углом установки приемника  $=0$  от идеального,  $\delta(U_1, U_3) = 1879$  - среднеквадратическое отклонение результатов измерения затухания акустической волны в канале с углом установки приемника  $=48^0$  от идеального.

Графики на рисунке 17 и результаты расчета среднеквадратических отклонений результатов измерения затухания акустической волны в канале с различными углами установки приемника свидетельствуют, что наиболее близким к идеальному случаю является вариант позиционирования приемника в измерительном канале под углом  $=48^0$ .

В таблице 2 приведены результаты статистической обработки 24 измерений, полученные при прозвучивании образца шерсти известной эталонной тонины 19,84 мкм, помещенного в лоток-держатель, с каждой из четырех граней и полученные путем определения среднего значения по результатам измерения по 4 граням ( $\bar{U}$  - математическое ожидание тонины,  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение,  $P$  - вероятность).

Анализ таблицы 2 позволяет сделать следующий вывод: математическое ожидание тонины, найденное как среднеарифметическое по результатам измерений по 4 граням, является наиболее близким к эталонному значению, поскольку характеризуется наименьшим среднеквадратическим отклонением с наибольшей доверительной вероятностью. Способ защищен патентом.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки результатов измерения тонины шерсти

Величина	Значение				Среднее арифметическое значение
	1 грань	2 грань	3 грань	4 грань	
, мкм.	19,81	19,60	19,81	19,69	19,88
$\sigma$	0,384	0,398	0,384	0,446	0,258
$P$	0,56	0,54	0,56	0,58	0,95

В пятой главе «**Методика экспресс-анализа тонины шерсти в условиях производства и расчет ожидаемого экономического эффекта**» изложена методика экспресс-анализа тонины мериносовой шерсти с использованием разработанного технического средства, основой которой является разработанный метод определения среднего арифметического значения среднеарифметическое по результатам измерений по 4 граням исследуемого образца.

Методика использована при проведении производственных испытаний в ОАО Племзавод «Степное» Родинского района Алтайского края.

Методика одобрена и рекомендована к использованию Главным управлением сельского хозяйства администрации Алтайского края.

Расчетный ожидаемый экономический эффект составляет 409,34 руб./гол. в год., срок окупаемости 1,5 года, коэффициент эффективности капитальных вложений 0,67.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Основным параметром, положенным в основу государственного стандарта классификации шерсти и формирования ее производственно-продажных партий, является тонина, принадлежность значения которой к тому или иному классу определяет качество продукции текстильной промышленности, закупочную цену шерсти и экономические показатели функционирования овцеводческого хозяйства, что является весьма актуальным в условиях дотационного финансирования.

2. Известные методы и технические средства оценки тонины не обеспечивают оперативности исследования, трудоемки, зачастую субъективны и, самое главное, не обеспечивают требуемой точности измерений, т.е. не способны выступать в качестве технологического фактора, позволяющего корректировать рацион и условия содержания овец для достижения требуемых показателей качества шерсти и не дающего однозначного ответа на принадлежность произведенной хозяйством партии шерсти к данному классу.

3. Ультразвуковые методы анализа полностью удовлетворяют сформулированным в работе требованиям к анализаторам волоконных материалов по быстрдействию, но не в полной мере обеспечивают точность измерения в силу неупорядоченности образца шерсти. В качестве критерия, обеспечивающего статистически значимую величину погрешности результата измерения, целесообразно использовать максимальное экстремальное значение акустического давления на приемную поверхность устройства, значение которого находится в функциональной зависимости от частоты ультразвуковой волны, геометрических параметров измерительного канала и угла позиционирования приемника по отношению к продольной оси канала.

4. Способ экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти, основанный на принципе измерения степени затухания амплитуды ультразвуковой волны, проходящей через четыре грани прямоугольного образца шерсти, и последующего определения среднеарифметического значения, позволяет проводить статистическую оценку тонины с совокупной инструментальной погрешностью  $\pm 2,5\%$  и доверительной вероятностью 0,95.

5. Практическая реализация способа экспресс-анализа тонины неупорядоченного образца мериносовой шерсти обеспечена ультразвуковым устройством, конструкция которого рассчитана в соответствии с оригинальной методикой определения рационального сочетания частоты ультразвуковой волны (диапазон варьирования – (70...220) кГц), полуширины измерительного канала (диапазон изменения - (3...10) мм) и угла наклона приемника акустических колебаний (диапазон – (0...70) градусов), совокупность которых гарантирует максимальное значение звукового давления и, следовательно, высокую точность измерений.

6. С целью исключения влияния на погрешность измерений параметров окружающей среды и вибрационных колебаний во время процесса измерений конструкция разработанного устройства предусматривает наличие заполненного эталонным образцом шерсти известной тонины реперного канала, что позволяет производить измерение методом сравнения, и оригинального крепления приемника в обойме из пористой резины.

7. Представленная в работе методика экспресс-анализа тонины шерсти в условиях производства реализована с использованием ультразвукового устройства, конструктивными параметрами которого являются: частота ультразвуковых колебаний - 150 кГц, полуширина измерительного канала - 5 мм, угол наклона приемника по отношению к продольной оси канала -  $48^{\circ}$ .

8. Значение ожидаемого экономического эффекта, рассчитанное для стада овец породы «Алтайская тонкорунная» при настриге 6 кг, при использовании одного ультразвукового устройства, обеспечивающего более точную классификацию шерсти по тонине, составляет 409 руб./гол. в год, срок окупаемости 1,5 года, коэффициент экономической эффективности 0,67.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

Издания по перечню ВАК

1. **Куницын Р.А.** Ультразвуковой прибор для исследования меринской шерсти. [Текст] / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын // Ползуновский вестник – 2010 - №2 - с. 57-59.

2. **Куницын Р.А.** Математическая модель ультразвукового анализатора качества меринской шерсти [Текст] / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын // Вестник АГАУ – 2010. - №3(65) - с. 72-75.

3. **Куницын Р.А.** Повышение точности контроля объемной плотности неупорядоченных волоконных сред с помощью ультразвуковых датчиков [Текст] / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын // Ползуновский вестник. - 2011.- № 2/2 - с. 8-12.

#### Публикации в других изданиях

4. **Куницын Р.А.** Ультразвуковой анализатор контроля качество меринской шерсти [Текст] / **Р.А. Куницын** // Молодые ученые - сельскому хозяйству Алтая – Барнаул: АГАУ, 2011. - №5 – с. 160 – 163.

5. **Куницын Р.А.** Обоснование методов и технических устройств для первичной обработки шерсти с использованием упругих волн в местах сырьевой базы [Текст] / Ц.И. Калинин, **Р.А. Куницын** // Материалы V международной научно-практической конф. «Аграрная наука - сельскому хозяйству». - Барнаул: АГАУ, 2010. – кн. 2 - с. 470-473.

6. **Куницын Р.А.** Технические возможности реализации повышения точности метода экспресс – контроля тонины шерсти на основе ультразвуковых датчиков [Текст] / **Р.А. Куницын** // Материалы IV международной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых «инновационные тенденции развития российской науки». - Красноярск: КрасГАУ, 2011. - с. 66-70.

7. **Куницын Р.А.** Особенности повышения точности контроля тонины шерсти на основе ультразвуковых датчиков [Текст] / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, **Р.А. Куницын** // Научно-практическая конференция молодых ученых «Научные достижения производства». - Иркутск: ИрГСХА, 2011. - с.311 – 319.

8. **Куницын Р.А.** Особенности построения ультразвуковых датчиков контроля плотности неупорядоченных волоконных сред [Текст] / Ц.И. Калинин, **Р.А. Куницын** // Материалы VI международной научно-практической конференции «Аграрная наука - сельскому хозяйству». - Барнаул: АГАУ, 2011. – кн.3 - с. 42-45.

9. **Куницын Р.А.** Возможности повышения точности экспресс-контроля тонины шерсти с помощью акустических данных [Текст] / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, **Р.А. Куницын** // Материалы X региональной научной студенческой конференции аграрных вузов Сибирского федерального округа «Научные основы развития АПК», - Барнаул: АГАУ, 2011. - с. 71-74.

10. **Куницын Р.А.** Инновационный метод экспресс-анализа тонины меринской шерсти [Текст] / Ц.И. Калинин, **Р.А. Куницын** // Материалы международной научно-практической конференции «Развитие инновационной деятельности в АПК региона». - Барнаул: АЗБУКА, 2012 .-с. 152-157.

11. **Куницын Р.А.** Экспериментальные исследования изменения акустического сигнала при прохождении неупорядоченных волоконных матери-

лов [Текст] / **Р.А. Куницын** // Молодые ученые - сельскому хозяйству Алтая – Барнаул: АГАУ, 2012. - №6 – с. 125 – 129.

#### Патенты

12. Способ определения тонины волокон. Патент № 2465582, G01N29/00, 2006 г. Российская Федерация, МПК G01N29/00 / Калинин Ц.И., **Куницын Р.А.**, Багаев А.А., ФГОУ ВПО АГАУ "Алтайский государственный аграрный университет" - №2011116334/28, заявл. 25.04.2011 г.



Подписано в печать 2013 г.  
Формат 60x84/16. Гарнитура Times New Roman  
Объем 1,0. уч.-изд.л Тираж 100 экз. Заказ № .

