

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ВОЛОКОННЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДАТЧИКОВ

А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын

В статье проведен анализ использования прямого и наклонного принимающего пьезоэлемента. Выявлено преимущество использования наклонного пьезоэлемента.

Ключевые слова: акустические колебания, ультразвук, повышение точности, приемник, принимающая способность, пьезоэлемент, неупорядоченная волоконная среда.

Среди важнейших отраслей продуктивного животноводства овцеводство не имеет себе равных по разнообразию производимой продукции, крайне необходимой для населения Сибири, проживающего в суровых природно-климатических условиях.

Тонкорунное овцеводство Западной Сибири размещено в степной и южной лесостепной зонах, природные и экономические условия которых наиболее полно соответствуют биологическим особенностям овец шерстно-мясного направления продуктивности. Что позволяет выращивать животных с шерстью высокого качества.

Для текстильной промышленности необходимы значительные партии очищенной и мытой однородной шерсти определенного класса, которые обычно формируются на фабриках первичной обработки шерсти (ПОШ).

Возрождение отрасли, на наш взгляд, должно производиться на основе внедрения принципиально новых средств и технологий на основе отечественных разработок, отталкиваясь от опыта отечественных и зарубежных специалистов.

На данный момент, как в России, так и за рубежом, ведутся активные разработки технологий позволяющих производить первичную обработку шерсти непосредственно в хозяйствах, что позволяет повысить рентабельность отрасли и качество выпускаемого продукта. Ключевым аспектом этой технологии является классировка шерсти на основе инструментального контроля.

В настоящее время известны ряд приборов, в том числе и ультразвуковые которые используются для некоторых операций по классировке шерсти [1], но их невысокая точность и экспрессность требует их дальнейшего совершенствования.

Разработка точного ультразвукового датчика в газовой среде является наиболее сложной проблемой вследствие специфики распространения волн в газовых средах. При этом влияние факторов окружающей среды как давление, влажность, температура и т. д. очень велико. Поэтому конструкция датчика должна иметь элементы нейтрализующие эти факторы.

В данной работе раскрывается вопрос повышении точности измерения ультразвуковых экспресс анализаторов шерстных волокон.

При проектировании приборов предназначенных для ультразвукового контроля естественных волокнистых материалов. Значительную роль имеет математическое моделирование, но вследствие сложности математического описания проходящих физических процессов эти модели требуют обязательного экспериментального подтверждения.

Из акустических характеристик необходимо рассмотреть скорость распространения ультразвука в волоконной среде, коэффициент затухания и отражательную способность материала.

Плотность вещества волокон на четыре порядка превышает плотность воздуха. Таким образом, для акустических колебаний, идущих по воздуху, хлопковые волокна будут представлять абсолютно жесткие тела. Поглощения акустической энергии волокном практически не будет вследствие резкого отличия волнового сопротивления вещества волокон от волнового сопротивления воздушной среды.

Скорость ультразвука в волоконных средах зависит от объемной плотности материала. Зависимость скорости от плотности материала может быть определена, если известно количество волокна в заданном при

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ВОЛОКОННЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДАТЧИКОВ

прозвучивании объема. В датчике постоянство объема обеспечивается постоянным поперечным сечением формирующего канала и постоянной длиной прозвучиваемого участка.

Структурный состав шерсти таков, что толщина на каком-либо участке поверхности существенно различен от точки к точке, т.е. контролируемая среда не является регулярной и результаты измерений в различных точках имеют большой разброс, кроме того шерсть может подвергаться различным физическим воздействиям. Для создания датчика высокой точности прежде всего необходимо оценить величину влияния этих факторов.

Известно, что скорость ультразвука в волоконных средах зависит от объемной плотности материала. Зависимость скорости от плотности материала может быть определена, если известно количество волокна в заданном при прозвучивании объеме. В датчике постоянство объема обеспечивается постоянным поперечным сечением формирующего канала и постоянной длиной прозвучиваемого участка.

Учитывая, что при $a/\lambda < 1/3$ (a - радиус излучателя, λ - длина волны) излучаемую волну можно рассматривать как сферическую, а также то, что энергетически наиболее оправдано применение для измерения в сильно поглощающих средах акустических колебаний в диапазоне до 1 МГц ($\lambda \geq 330$ мкм), можем сделать вывод о правомерности отображения фронта акустической волны, прошедшей через решетку цилиндров, в виде суперпозиции равномерно расположенных точечных источников сферических волн. В этом случае, используя принцип Гюйгенса и теорию группового излучения, можно представить однорядный слой волокон как излучатель плоской волны.

Акустическая волна, идущая через волокнистую массу, распространяется по межволоконным промежуткам. В результате приращение пути, вызванное дифракционным огибанием волокон, хорошо аппроксимируется секансоидальной зависимостью, т.е. $BC = BO \cdot q \cdot \sec \alpha$ (рисунок 1). При уплотнении множества волокон в направлении излучения относительное удлинение пути распространения колебаний возрастает, так как в этом случае возрастает секанс угла огибания. Однако указанная аппроксимация допустима только до определенных пределов. При межволоконных волновых промежутках порядка $0,1\lambda$ и менее относительное приращение пути распространения волны прямо пропорцио-

нально коэффициенту перфорации, т.е. $2a/d$. [2]

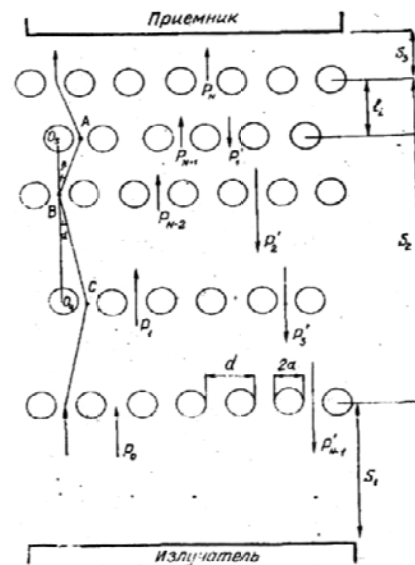


Рисунок 1 - Графическая иллюстрация прохождения волны сквозь волокнистый материал

При проверке данной теории был проведен ряд опытов, в котором образец полутонкорунной шерсти при неизменной поверхностной плотности в направлении прозвучивания подвергали сжатию, т.е. изменению объемной плотности в направлении прозвучивания. Коэффициент сжатия колебался в пределах от 100% до 32% прежнего объема (рисунок 2).

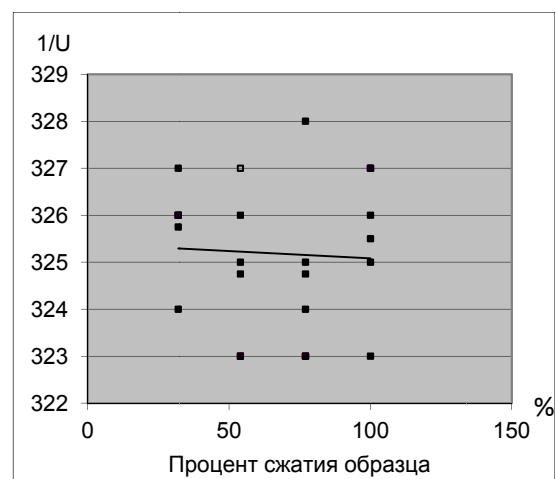


Рисунок 2 - Характеристика изменения акустического затухания от сжатия волокна

Из приведенного выше графика видно, что изменения величины сигнала практически

не происходит. Необходимо отметить, что слабое изменение сигнала происходит вследствие уменьшения ширины контролируемого образца, и этот факт также необходимо учитывать при исследованиях с целью снижения погрешности.

Наибольшее внимание необходимо уделять исследованию волновых полей излучателей позволяющий правильно выбрать параметры пьезоэлемента, которые допустимо применять для прозвучивания нерегулярных волоконных сред. Эмпирический поиск превалирует над теоретическим в том плане, что реальные пьезоэлементы создают акустические поля с параметрами пространственно-амплитудного распределения звукового давления в сечениях УЗ пучка, существенно отличающимися от теоретических данных, получаемых для идеального поршня. Так как формируемое поле определяется в основном свойствами механической колебательной системы, то в эти отличия наибольший вклад могут вносить неидеальность пьезоэлектрических свойств материала преобразователя (анизотропия), отклонение траекторий колебательного движения точек рабочей поверхности вибратора от траекторий движения точек поверхности идеального поршня [4].

Смещение оптимального участка точностной характеристики в область диапазона изменения входной величины осуществляется изменением параметров зоны контроля.

Учитывая этот факт для дальнейшего совершенствование прибора, были проведены экспериментальные исследования волновых полей излучателей, имеющие своей целью определение и выбор параметров вибраторов, которые допустимо применять для прозвучивания нерегулярных волоконных сред.

Для определения оптимальных конструктивных параметров излучателей по критерию наибольшей равномерности поля были проведены опыты по выявлению зависимостей положения приемника и изменения параметра получаемого сигнала. Приемная поверхность пьезоэлемента может изменять наклон на величину $\alpha = \lambda/4$ для смещения его по горизонтальной оси в канал датчика встроена специальная система перемещения, показанная на рисунке 3.

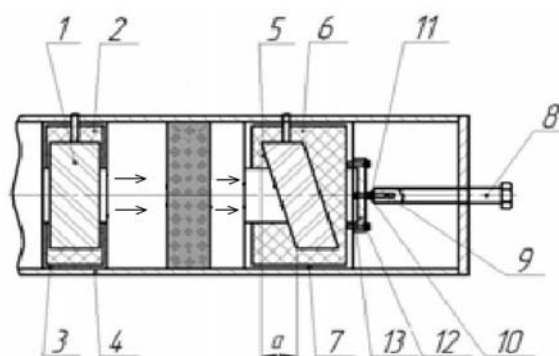


Рисунок 3 - Общий вид экспериментальной системы: 1 – излучатель, 2 – акустический изолятор, 3 – гильза, 4 – корпус канала, 5 – приемник, 6 – акустический изолятор, 7 – гильза, 8 – микровинт перемещения, 9, 10, 11, 12, 13 – крепежный узел

На рисунке 4 показано распределение акустического поля приемника в канале от излучателя к приемнику.

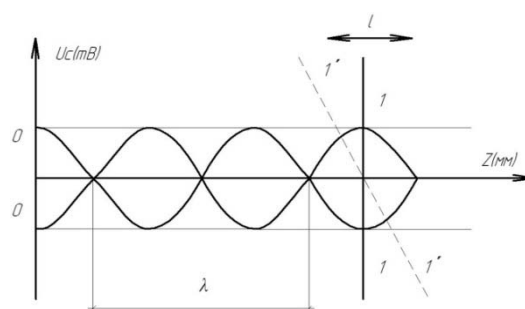


Рисунок 4 - Распределение акустического поля от излучателя к приемнику: 00 – положение излучателя, 11 – положение прямого приемника, 1'1' – положение наклонного приемника, λ – длина волны акустических колебаний, l – направление перемещение приемника

В результате проведенных экспериментов были получены зависимости изменения амплитуды и фазы волны по длине канала (рисунок 5).

Из приведенных выше графиков видно, что полученные значения сигналов по амплитуде и фазе менее отличны от идеального поршня в случае наклонного приемника.

Экспериментальные исследования акустических полей датчика позволяют сделать вывод, что наиболее предпочтителен пьезоэлектрический датчик с наклонной принимающей поверхностью вследствие меньшего искажения принимаемой волны.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ОБЪЕМНОЙ ПЛОТНОСТИ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ВОЛОКОННЫХ СРЕД С ПОМОЩЬЮ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ДАТЧИКОВ

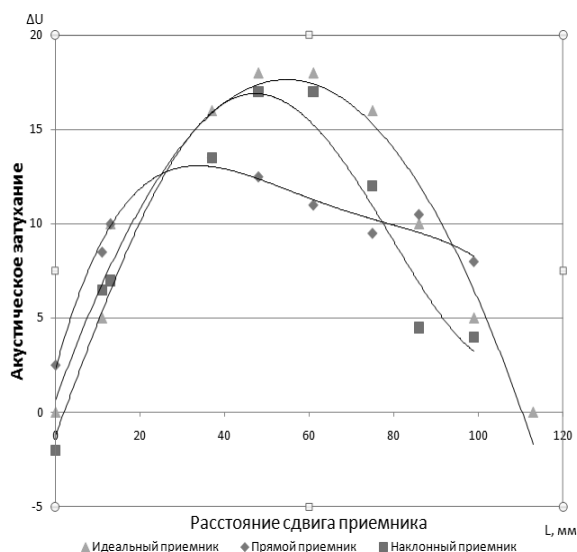


Рисунок 5 – Зависимости изменения акустического сигнала при наклонном и прямом приемнике

Кроме того большое внимание следует уделять влиянию факторов окружающей среды как давление, влажность, температура и т. д. очень велико. Поэтому конструкция датчика должна иметь элементы нейтрализующие эти факторы.

Для решения этой задачи нами разработана следующая конструкция прибора, внешний вид его приведен на рисунке 6, конструкция приведена на рисунке 7.



Рисунок 6 – Внешний вид датчика и УЗ-прибора

Модуль излучателя представляет собой пьезопреобразователь двустороннего излучения. В модуле приемника имеются два аналогичных односторонних пьезопреобразователя. Между излучателем и ультразвуковым приемником размещается помимо рабочей полости 5, реперную полость 6. В рабочую полость помещается исследуемое во-

локно. В реперную укладывается эталонный затухатель, что позволяет проводить измерения ультразвукового затухания методом сравнения. Электронные сигналы поступающие через разъемы 7 и 8 необходимы для корректировки сигнала генератора накачки. Через разъем 9 подается сигнал на измерительный прибор.

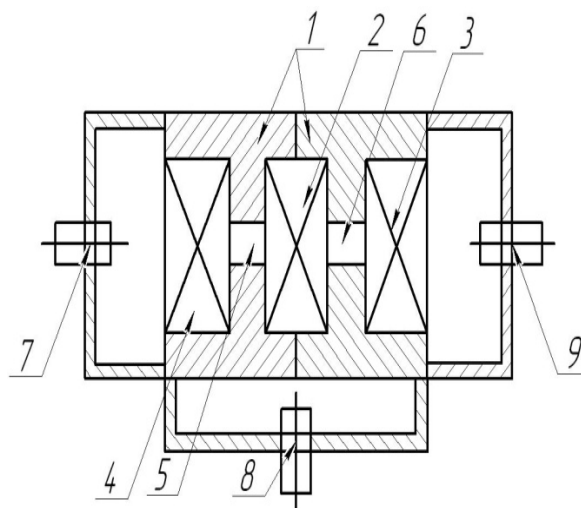


Рисунок 7 - Общий вид ультразвукового датчика: 1 – корпус; 2 – излучатель; 3, 4 – приемники; 5, 6 – рабочие полости; 7, 8, 9 – электроразъемы

Данный прибор (рисунок 6) содержит разъемный корпус 1, состоящий из двух частей, в который встроены три модуля: модуль излучателя 2, расположенный в центре корпуса 1; модуль приемника 3; дополнительный приемник 4.

Для повышения точности измерения разработана специальная схема измерения и накачки ультразвуковых акустических резонаторов. Схема приведена на рисунке 8.

Акустические колебания в канале датчика ослабляются в функциональной зависимости от параметров волокнистого продукта 5. Принятые акустические колебания от приемника 4 усиливаются в блоке 8 и поступают на цифровой регистратор 9.

В канале датчика акустические колебания, изменяясь по амплитуде и фазе под действием окружающей среды принимаются приемником 3, усиливаются усилителем 6 и поступают на вход блока 7 фазовой автоподстройки частоты и усиления сигнала накачки генератора 1, компенсируя влияние внешних возмущений и тем самым поддерживают постоянную интенсивность излучения акустических колебаний в канале датчика.

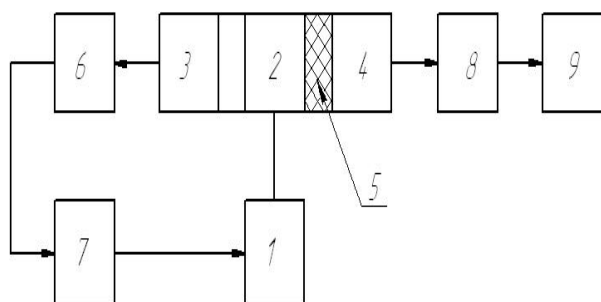


Рисунок 8 - Блок-схема измерения и накачки электрической схемы регистрации сигналов датчика: 1 – электрический генератор накачки; 2 – пьезоизлучатель; 3,4 – приемники акустических колебаний; 5 – волокнистый материал; 6, 8 – усилители, 7 – схема АРУ, 9 – регистрирующий прибор. [3]

При учете всех вышеизложенных факторов становится возможным создания ультразвукового прибора как базового устройства экспресс-контроля тонины шерсти в хозяйствах и фабриках ПОШ как одно из решений для повышения рентабельности получения прядмой шерсти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюков А.Ф. Экспериментальное определение свойств волокон с помощью акустических колебаний / А.Ф. Костюков // Вестник АГАУ №9 (71) 2010.-С. 84-88.
2. Костюков А.Ф. Модель регистрации признаков многослойной структуры с помощью акустических колебаний / А.Ф. Костюков // Вестник АГАУ №3 2010.-С. 92-94
3. Багаев А.А., Калинин Ц.И., Куницын Р.А. Ультразвуковой прибор для исследования меринской шерсти / А.А. Багаев, Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын // Ползуновский вестник № 2 2010.-С. 56-59.
4. Иливанов В.М., Кандрин Ю.В., Цымбалист В.А. Физическая акустика: Монография. 2-е изд., доп. Барнаул: Изд-во АГАУ, -2004. - 58 с.

Багаев А.А., Алтайский государственный аграрный университет, зав. кафедрой электрификации и автоматизации сельского хозяйства, д.т.н., профессор, E-mail: BAGAEV710@mail.ru, тел.: 8(3852) 24-91-54;

Калинин Ц.И., АГАУ, к.т.н. доцент, тел.: 8(3852) 24-91-54;

Куницын Р.А., Алтайский государственный аграрный университет, аспирант, кафедра Эи-АСХ, E-mail: Kynizin_roman@mail.ru, тел.: 8(3852)24-91-54.