

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СРЕДНИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОН ЛЬНА В МАССЕ

А.Ф. Костюков, О.К. Никольский

Излагаются результаты исследований взаимодействия ультразвука с элементарными волокнами льна. Приводится ряд экспериментальных зависимостей ультразвукового сигнала от средней разрывной прочности и линейной плотности волокон.

Ключевые слова: льняное волокно, ультразвук, параметры, экспериментальные характеристики

В соответствии с Государственной программой «Концепция обеспечения предприятий льняного комплекса техникой и технологическим оборудованием по выращиванию, уборки льна и его глубокой переработке на 2008-2012 годы и на период до 2020 года», утвержденной МСХ РФ в 2008г., одной из важнейших задач сельскохозяйственного производства является обеспечение текстильной промышленности отечественной сырьевой базой, ликвидация зависимости от хлопкосеющих стран. Наиболее перспективным в этом направлении представляется использование волоконного сырья – льна-долгунца, ненаркотической конопли и т.п.

Сельскохозяйственное волоконное сырье в своей массе (множестве волокон) обладает типично анизотропными свойствами по степени созревания, вследствие существенных отличий почв, освещенности, места произрастания, сроков посева, уборки и других факторов. Поэтому объективные контролируемые параметры в пределах партии волокна могут быть получены лишь статистически. Тогда, на основе метрологических показателей, данная селекционная партия волокна может быть отнесена к тому или иному промышленному сорту.

Ошибка в оценке на одну градацию промышленного сорта дает разницу стоимости партии волокна в 10 – 30% (без учета качественных потерь конечного продукта).

Существующие стандартные методы статистическую обработку обеспечить не могут, вследствие чрезвычайно высокой длительности и трудоемкости процесса контроля.

В настоящее время качество продукции текстильных предприятий формируется на основе сортировок сырья, когда в исходное волокно, например, отборного или первого промышленного сорта, добавляется строго дозированное количество волокон более низких сортов. Использование такой технологии переработки волоконного полупродукта предполагает наличие эффективного способа контроля качества исходного сырья.

За последние десятилетия в мировой торговле волоконным сырьем используется, разработанная в США, система оценки качества волокон HVI [1]. В системе HVI сорт хлопкового волокна определяют через показатели коэффициента отражения и степени желтизны. Вторым параметром при оценке волокна является его пневмопроницаемость. И, наконец, третьим показателем является средняя длина волокон, определяемая давно используемым фирмой «Цельвегер Устер» оптическим или ёмкостным способом. Все указанные способы, составляющие комплекс системы, предполагают наличие дорогостоящей аппаратуры, длительны и трудоемки.

Идея нового метода состоит в нахождении такого инструмента контроля, который бы давал возможность регистрировать количество волокон в образце заданного веса, что позволяет определить средний вес единичных волокон в заданной навеске и, соответственно, зрелость, разрывную прочность, линейную плотность волокон.

После анализа существующих методов неразрушающего контроля выявлено, что наиболее приемлемым инструментом являются акустические колебания, а именно,

регистрация изменения амплитуды и фазы акустических (ультразвуковых) колебаний, прошедших через отформатированную волоконную массу [2].

Целью данной работы является оценка принципиальной возможности оперативного неразрушающего контроля метрологических свойств волокон в массе на момент сбора урожая, а также при приемке волоконного сырья предприятиями текстильной промышленности.

Задачами проводимой работы являются:

- установление функциональных зависимостей ультразвукового сигнала от основных параметров волоконной массы
- установление метрологических границ существующим качественным оценкам

Исходя из результатов теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в [2,3], была составлена программа конструктивной разработки экспериментального образца устройства ультразвукового контроля метрологических параметров растительных волокон в массе (УЗКВ).

Технологическая блок-схема контроля предусматривает не только последовательность процесса контроля, но и схемно-конструктивные особенности устройства.

Экспериментальное устройство УЗКВ было разработано по принципу прямого фазового контроля. Вместо координатно-верньерного устройства [3] предусмотрена кассета с двумя ячейками для закладки эталонного и контролируемого образцов.

Причём, эталонный образец формируется так, чтобы его поверхностная количественная плотность была на 10% выше, чем у образца с самым незрелым волокном данного селекционного сорта. В этом случае, показания эталонного образца будут находиться на конце контролируемого диапазона, что позволит перекрыть весь диапазон относительных значений сигнала. Разумеется, для каждого вида и селекционного сорта волокон приготавливается свой эталонный образец. Разработанная, в соответствии с технологической схемой контроля, блок-схема устройства имеет следующий вид (рисунок1).

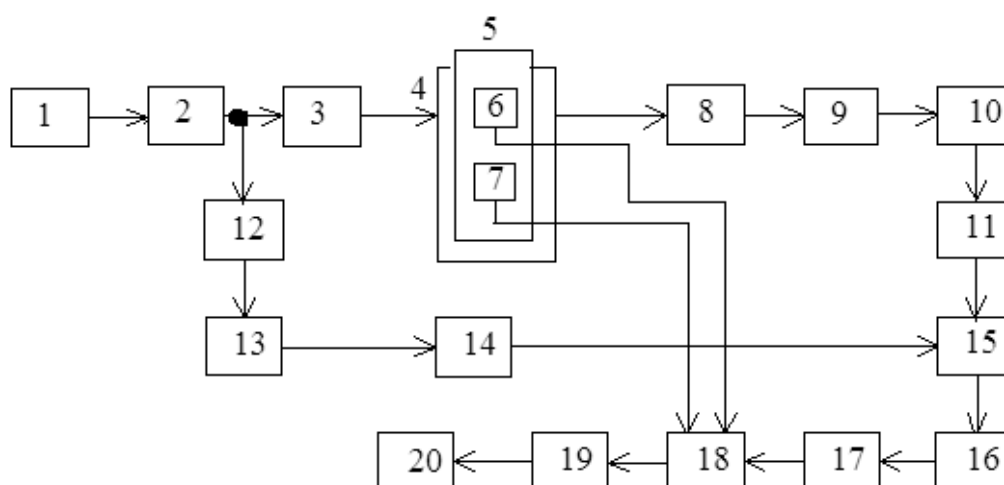


Рисунок 1 – Блок-схема устройства контроля волокон УЗКВ: 1 – генератор синусоидальных колебаний, 2 – усилитель, 3 – излучающий датчик, 4 – кассетодержатель, 5 – кассета, 6 – эталонный образец, 7 – контролируемый образец, 8 – приёмный датчик, 9 – усилитель-ограничитель, 10 – дифференцирующая цепь, 11 – усилитель-формирователь, 12 – усилитель-ограничитель, 13 – дифференцирующая цепь, 14 – усилитель-формирователь, 15 – триггер, 16 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП), 17 – оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), 18 – вычислитель отношения сигналов эталон/контроль, 19 – вычислитель параметров волокна, 20 – устройство отображения информации

Устройство работает следующим образом (рисунок 1). Генератор высокочастотных колебаний 1 подает синусоидальный сигнал на усилитель 2, с которого колебания поступают на излучающий пьезоэлемент 3 и усилитель-ограничитель 12. Ультразвуковые колебания, пройдя последовательно, по мере перемещения кассеты, через слой волокна эталона 6 и контролируемого образца 7, попадают на приемный датчик ультразвука 8, преобразуются и усиливаются усилителем-ограничителем 9. Далее сигнал подается на схему выделения информации 15. Одновременно, на другой вход этой схемы, последовательно через дифференцирующую цепь 13 и усилитель-формирователь 14, подается опорный сигнал с генератора 1. Выделенная информация поступает на аналого-цифровой преобразователь 16, а затем в оперативное запоминающее устройство 17, где ожидается поступление аналогичного сигнала, прошедшего через контрольный образец. При поступлении сигнала срабатывания с микропереключателя 11 (рисунок 2), производится вычисление отношения сигналов эталон/контроль в узле

18 и результат передается в узел 19, для определения требуемого параметра и текущего вычисления статистических значений выборки. По команде, поданной с передней панели устройства соответствующей клавишей, на табло 20 отображается соответствующий параметр.

Конструкции УЗ-камеры и кассеты для закладки образцов было уделено особое внимание.

Ультразвуковая камера (рисунок 2) представляет из себя коробообразный корпус 1, у которого отсутствует одна торцевая стенка. На боковинах 7 сделаны два соосных круговых отверстия, в которые закреплены два датчика ультразвука, соответственно - излучающий 2 и принимающий 3. Датчики закреплены на корпусе с помощью фиксирующих колец 4. На боковине 8 сделаны два прямоугольных отверстия, в которые закреплены два микропереключателя типа МП2-1 таким образом, чтобы, при вводе в камеру кассеты, происходило поочередное нажатие кнопок микропереключателя 5, затем 6. На задней торцевой стенке установлен ещё один микропереключатель МП2-1 (поз. 11),

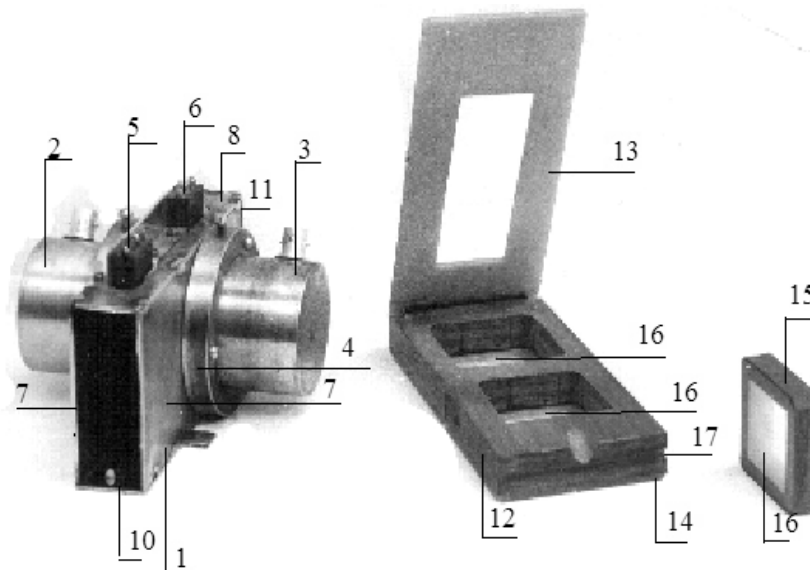


Рисунок 2 – Ультразвуковая камера с кассетоприёмником и кассетой для закладки образцов

запускающий отсчёт отношения сигналов эталон/контроль. Кассета для закладки образцов состоит из корпуса 12 (рисунок 2) и двух боковых щечек 13 и 14, из которых щечка 13 является одновременно крышкой. Квадратные отверстия в корпусе и щечках соосны и имеют различные размеры. Размер

отверстий в корпусе - 45х45 мм, в нижней щечке - 30х30 мм, в крышке - 90х30 мм. Для фиксации образца в установленном положении служит рамка 15 с наружными размерами 45х45 мм и внутренними

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СРЕДНИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОН ЛЬНА В МАССЕ

размерами 30х30 мм. Отверстия в щечке 14 и рамке 15 закрыты металлическими сетками 16, которые являются, одновременно, обкладками воздушного конденсатора. Для правильной фиксации кассеты в ультразвуковой камере служит паз 17 на боковой стенке кассеты, в который, при вложении кассеты в камеру, входит штырь 10.

Таким образом, конструкция кассеты и ультразвуковой камеры позволяют жестко зафиксировать положение образца относительно ультразвуковых датчиков, обеспечив при этом заданную объемную и поверхностную плотность для всех образцов.

Эталонный и контролируемые образцы изготавливаются из многослойных прочёсов, получаемых с чёсальных машин или с ватночёсальных машин, выпускаемых серийно. В данной работе использовалась

специально разработанная приставка к серийной чёсальной машине.

Электронная схема устройства представляет из себя единый блок и состоит из печатных плат генератора, приемника, схемы выделения информации, включая табло цифрового отображения информации, и источник питания.

Расположенные на передней панели УЗКВ клавиши (рисунок 3) имеют следующее обозначение:

$\bar{X}$ – математическое ожидание контролируемой величины, σ – дисперсия ожидаемой величины, δ – статистическая точность результата (%), z – зрелость волокна (в относительных единицах), L – линейная плотность волокна мГ/м, N – достоверность результата (%), n/n – режим корректировки отношения эталонного и контролируемого сигналов.



Рисунок 3 – Внешний вид устройства УЗКВ

Разработанная математическая модель [2]. позволила установить основные факторы, влияющие на изменение ультразвукового сигнала при прохождении его через образец исследуемого волокна.

Для оценки величины сигнала используется явление квазидисперсии акустических колебаний. Явление квазидисперсии скорости ультразвука в контролируемом образце проявляется тогда, когда при наращивании количества волокон в образце в направлении зондирования,

первая пучность стоячей волны (непосредственно после образца, со стороны приемного датчика) смещается в направление излучателя, создавая иллюзию дисперсии (рассеяния) скорости ультразвука в образце

Устройство – циклического действия. Время измерения, включая закладку образца, не превышает 10 сек. Время, необходимое для подготовки устройства к работе, подразумеваемая включение, прогрев и настраивку, не превышает 30 минут. Время, необходимое для подготовки 200 образцов одной пробы волокна к работе, включая от-

бор пробы, прочес и вырезку, не превышает 1 часа 30 минут.

Функциональные зависимости величины амплитуды сигнала от значения поверхностной количественной плотности K_s (рисунок 4) и объемной количественной плотности K_v (рисунок 5) полностью подтверждают теоретические выводы.

Как видно из характеристик (рисунок 4), амплитуда сигнала находится в сильной нелинейной зависимости от поверхностной количественной плотности, т.е. от количества волокон в направлении прозвучивания и, та-

ким образом, имеет недопустимый разброс по погрешности измерения при контроле волокон различной зрелости. Характеристики (рисунок 5) показывают, что, при неизменной поверхностной количественной плотности, амплитуда сигнала остается, практически, неизменной от колебаний объемной количественной плотности контролируемого образца, т.к. приращение пути распространения из-за огибания волокон не превышает 1 – 2 мм и падение амплитуды, в этом случае, меньше ошибки контроля.

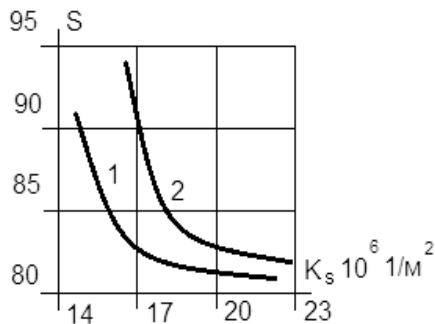


Рисунок 4 – Зависимость амплитуды сигнала от поверхностной количественной плотности: 1 – льняное волокно, 2 – хлопковое волокно

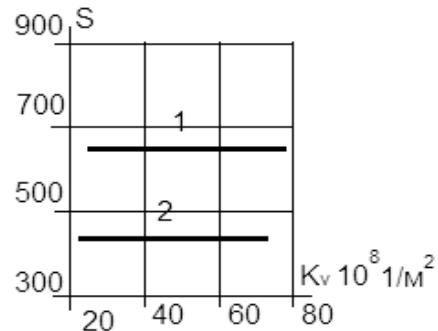


Рисунок 5 – Зависимость амплитуды сигнала от объемной количественной плотности

Для фазового сигнала, как видно по изображению (рисунок 6), зависимость сигнала от поверхностной количественной плотности

имеет линейный характер, а зависимость сигнала от объемной количественной плотности (рисунок 7) ярко выраженную нелинейность.

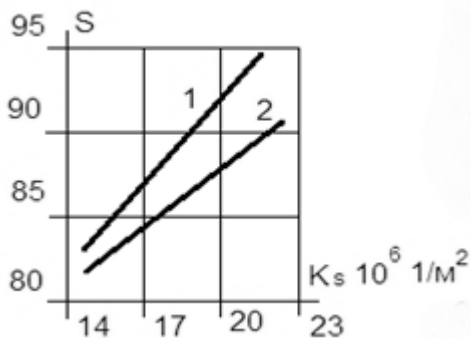


Рисунок 6. – Зависимость фазы сигнала от поверхностной количественной плотности: 1 – льняное волокно, 2 – хлопковое волокно

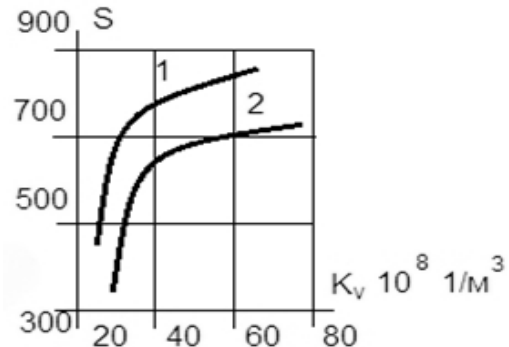


Рисунок 7 – Зависимость фазы сигнала от объемной количественной плотности

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СРЕДНИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКОН ЛЬНА В МАССЕ

Оценка метрологических параметров льна-волокна производилась на основе сравнения полученных ультразвуковых характеристик волокон с их динамометрическими показателями и характеристиками хлопка-волокна, с уже известными парамет-

рами, определенными стандартными методами. В целях наглядности (рисунок 8), линейная плотность (г/м) волокон представлена обратной, равноценной величиной – номером (м/г). Полученные зависимости позволяют метрологически оценить зрелость элементарного волокна льна.

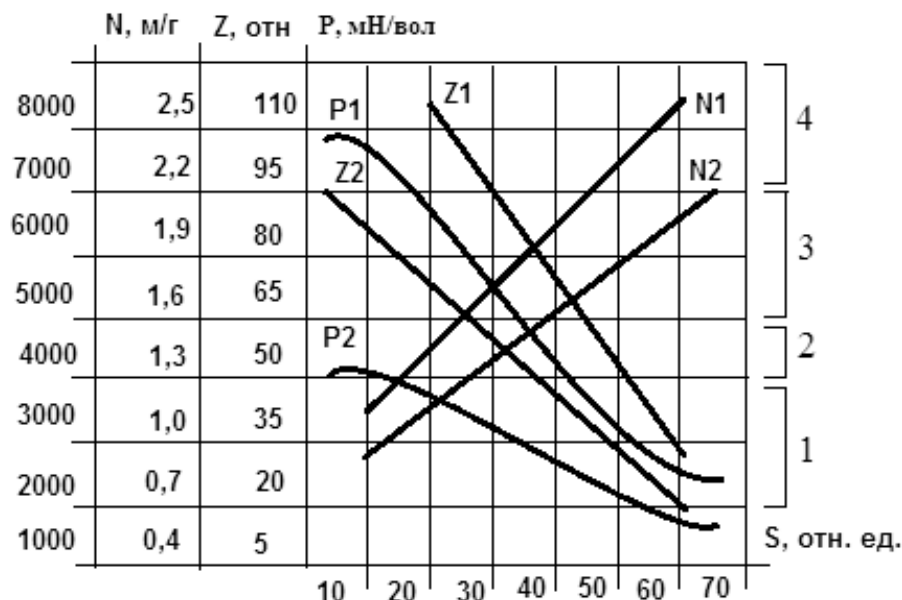


Рисунок 8 – Зависимости УЗ-сигнала от метрологических параметров волокон льна и хлопка: P1 – зависимость относительного сигнала от разрывной прочности волокон льна (мН/вол), P2 – зависимость относительного сигнала от разрывной прочности волокон хлопка (мН/вол), Z1 – зависимость относительного сигнала от зрелости волокон хлопка (отн. ед.), Z2 – зависимость относительного сигнала от зрелости волокон льна (отн. ед.), N1 – зависимость относительного сигнала от номера волокон хлопка (м/г), N2 – зависимость относительного сигнала от номера волокон льна (м/г)

Как видно из рисунка 8, зависимости зрелости и разрывной прочности имеют единообразный линейный характер. Изгиб на краях диапазонов характеристик разрывной прочности объясняется тем, что, с повышением зрелости изменяется удельная плотность целлюлозы волокна. Колебания удельной плотности волокон различной зрелости могут быть в пределах от 1.45 Г/см³ до 1.53 Г/см³. Погрешность, вызванная этим фактором, не превышает 0,7%. Установленные метрологические границы существующим качественным оценкам зрелости элементарного волокна льна укладываются в следующие интервалы разрывной прочности: 110÷100 мН/вол соответствуют приспособлены к переработке «своей» пряжи и не могут отказаться от неё даже из-за низкого качества или высокой цены. Ограничив объем экспорта и десятилетиями оставаясь

качественному «полное желтое» (перезрелое) - 4, 100÷65 мН/вол - «желтое» (зрелое) - 3, 65÷35 мН/вол – 3, «раннее желтое» (зрелое) - 2, 35÷25 мН/вол - «зеленое» (недозрелое) - 1.

На международном рынке ткацкие фабрики закупают нужную им пряжу, а затем производят из нее ту или иную ткань. В России дело обстоит иначе. Пряжу производят сами льнокомбинаты, которые жестко специализированы по ассортименту. И если на комбинате используется короткое техническое волокно, то пряжа из него пригодна лишь для изготовления мешковины, брезентов и других технических тканей.

Ткацкие фабрики льнокомбинатов монополистами на внутреннем рынке, отечественные производители льна существенно снизили качество своей продукции. Российские сорта льна слабее и грубее бель-

гийских и французских, а потому и пряжа из них имеет более низкие показатели. Указанное технологическое отставание касается не только льна, но всех текстильных волокон, производимых бывшими союзными республиками Советского Союза – хлопка, шерсти, шёлка и др. Исходя из этого, с целью повышения качества производимой продукции, представляется целесообразным разорвать «связку» производитель – переработчик льняного волокна с тем, чтобы производители волокна выходили со своей продукцией на рынок, а переработчики волокна закупали волокно в условиях конкуренции. Причем, производители волокна должны предлагать на рынке уже элементарное (а не техническое) волокно, т.е. производить первичную обработку сырья.

В связи с этим, предлагаемый метод может гарантированно обеспечить сплошной контроль волоконного сырья как у производителя, так и переработчика.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Амплитуда акустического сигнала находится в нелинейной зависимости от количества волокон в направлении распространения и не зависит от объемной плотности волоконного образца.

2. Фаза акустического сигнала находится в линейной зависимости от количества волокон в направлении распространения и имеет нелинейную зависимость от объемной плотности волоконного образца, что обуславливает необходимость создания постоянного (одинакового) объема образцов волокон при контроле.

3. Для определения свойств волоконных масс предпочтительнее выглядят фазовые методы контроля, при условии размещения контролируемого образца в фиксированный объем.

4. Так как параметры хлопковых волокон, трудами ЦНИХБИ (Центральный научно-исследовательский институт хлопчатобумажной промышленности), обеспечены метрологически, то сравнение полученных зависимостей для хлопковых и льняных волокон дает возможность метрологически обеспечить параметры льняных и др. сельскохозяйственных волокон.

5. Предложенный ультразвуковой метод универсален и может быть использован для оперативного контроля основных метрологических параметров волоконных масс любого происхождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Хлопковая Ассоциация, Лимитед. Постановления и правила. В 3-х т. (Электронный ресурс) http://www.ica-ltd.org/media/layout/documents/rulebooks/rulebook_ru_ssian/_jan09

2. Костюков А.Ф. Ультразвуковой метод контроля волокна. / А.Ф. Костюков // Ползуновский вестник. Электроэнергетика в сельском хозяйстве. Барнаул, 2011г. – Выпуск 2/2. – с. 212 – 216

3. Костюков А.Ф. Экспериментальное исследование параметров волоконного сырья с помощью ультразвука / А.Ф. Костюков // Ползуновский вестник. Электроэнергетика в сельском хозяйстве. Барнаул, 2011г. – Выпуск 2/2. – с. 225 – 229

Костюков Анатолий Федорович,
к.т.н., ст. преподаватель Кафедры
«Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства» ФГОУ ВПО АГАУ, г.
Барнаул, тел. 8(3852) 62-84-49, E-mail:
kostyukovaf@mail.ru

Никольский Олег Константинович,
Заслуженный деятель науки и техники,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой
«Электрификация производства и быта»
АлтГТУ, тел. (3852) 36-71-29.