

УДК 677.017

Кисельов В.Б.,
д.т.н., профессор, АМУ

БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ МАССЫ ТЕКСТИЛЬНЫХ ПОЛОТЕН С ПОМОЩЬЮ ИМПУЛЬСНОГО ОБЛУЧЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОМ

Обґрунтована доцільність використання імпульсного ультразвукового сигналу при визначенні маси текстильного полотна одного метра квадратного. Аналіз показав, що амплітуда ультразвукових хвиль, які проходять крізь текстильний матеріал, залежить також від його положення. Отримані амплітудні залежності для імпульсного ультразвукового сигналу. Доведено, що для підвищення вірогідності контролю необхідно усунути похибки вимірювання, які викликані багаторазовим відбиттям хвиль. Наведено результати досліджень.

Обоснована целесообразность использования импульсного ультразвукового сигнала при определении массы текстильного полотна одного метра квадратного. Анализ показал, что амплитуда ультразвуковых волн, проходящих сквозь текстильный материал, зависит также от его положения. Получены амплитудные зависимости для импульсного ультразвукового сигнала. Доказано, что для повышения достоверности контроля необходимо устранить погрешности измерения, вызванные многократным отражением волн. Приведены результаты исследований.

The expediency of use of pulsed ultrasonic signal in determining of the surface density of textile material is proved. Analysis is showed, that the amplitude of ultrasonic waves, which passes through the textile material, also depends on the position of textile material. Dependences of amplitude for pulsed ultrasonic signal are obtained. For increase the probability of control is necessary to eliminate measurement errors that caused by reflection waves and that is proved. Results researches are resulted.

Введение. Сегодня есть необходимость в бесконтактном ультразвуковом контроле [1] различных технологических параметров текстильных материалов непосредственно в процессе их производства. Учитывая, что амплитуда является параметром ультразвуковых волн, с помощью которой можно точно определять различные технологические параметры текстильных материалов, в частности массу текстильного полотна, то в таком случае возникает необходимость в исследовании

прохождения ультразвукового сигнала сквозь материалы, которые контролируются.

Анализ исследований и публикаций. Как показано в большинстве существующих публикациях ультразвуковые непрерывный и импульсный сигналы могут применяться для определения массы текстильного полотна с площадью один квадратный метр. Используя при контроле непрерывное ультразвуковое излучение может возникать значительная погрешность измерения. Анализ этого процесса дает возможность сделать вывод, что амплитуда ультразвуковых волн, прошедших сквозь контролируемый текстильный материал, зависит еще и от положения самого полотна. Поэтому необходимо применять импульсное излучение, при котором исключаются указанные погрешности измерения, что повышает достоверность контроля. С помощью ультразвукового амплитудного метода [2] можно определять один из основных технологических параметров текстильных материалов, которым является масса тканого полотна с площадью один квадратный метр, а зная как затухает амплитуда волн, которые взаимодействуют с этими материалами, можно обеспечить оперативный технологический контроль этого параметра в процессе производства. Контролировать указанный параметр в реальных условиях производства можно только проанализировав прохождения волн с учетом различных дестабилизирующих факторов, которые могут возникать во время технологического процесса.

Постановка задачи. Для того, чтобы точно определять массу текстильного полотна необходимо учитывать, что ультразвуковой сигнал, который проходит сквозь контролируемый текстильный материал или ткань представляет собой суперпозицию сигналов [3], один из которых прошел сквозь поры, а другой, который прошел непосредственно сквозь нити. Поскольку большая часть ультразвуковых волн проходит в основном сквозь поры ткани [4], то в таком случае общее затухание ультразвукового сигнала будет меньше чем затухание волн в похожем однородном материале. Исходя из изложенного, необходимо определить на сколько отличается амплитуда ультразвукового сигнала, который прошел сквозь контролируемую ткань, от амплитуды волн, которые падают на нее.

Результаты исследований. Амплитуду ультразвукового сигнала, прошедшего сквозь контролируемую ткань, с нитями основы диаметром d_o и с нитями утка диаметром d_y , можно представить модулем комплексного коэффициента прохождения $|T|$. Акустическое сопротивление среды, из которой падает волна, равно Z_1 , материала нитей основы – Z_2 , материала нитей утка – Z_3 , среды, в которую падает волна после прохождения – Z_4 . Выражение для комплексного коэффициента прохождения ультразвуковой волны, которая многократно отражается от различных границ сред и проходит сквозь поры и нити контролируемой

ткани, является суммой бесконечно убывающей геометрической прогрессии. Поскольку на определение технологических параметров тканей может влиять многократное отражение ультразвуковых волн от поверхностей преобразователей и поверхности контролируемого изделия с наложением их сигнала, то рассматривается импульсный ультразвуковой сигнал. При этом ткань с акустическим сопротивлением Z_2 (когда $Z_2 \approx Z_3$), размещена в среде с акустическим сопротивлением Z_1 (в воздушной среде, когда $Z_1 = Z_4$). Если время прохождения импульсом контролируемой ткани больше его длительности, то прохождение сигналом этой ткани соответствует распространению в безграничной среде. При контроле тканей длительность импульса превышает время прохождения им контролируемой ткани. В этом случае будет происходить многократное отражение отдельных составляющих импульса от границ нитей ткани и смежных с ними сред.

Ультразвуковой импульсный сигнал, прошедший контролируемую ткань с учетом диаметров нитей основы d_o и утка d_y , где d_{oy} является суммой этих диаметров, может быть подан следующим образом:

$$P_1(t') = P_1 \left(\frac{\pi d_{oy}}{4c_2} - t \right) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} T(\omega) S(\omega) \cdot e^{j\omega \left(\frac{\pi d_{oy}}{4c_2} - t \right)} d\omega, \quad (1)$$

где $t' = \left(\frac{\pi d_{oy}}{4c_2} - t \right)$ – время с учетом задержки ультразвукового сигнала;

t – время без учета задержки ультразвукового сигнала;

$T(\omega)$ – комплексный коэффициент прохождения с учетом затухания;

$S(\omega)$ – спектральная плотность падающего ультразвукового сигнала;

ω – круговая частота;

c_2 – скорость распространения ультразвуковых волн в ткани.

Если записать выражение (1) связав его с массой M полотна контролируемой ткани с площадью один метр квадратный, то эта зависимость будет иметь вид:

$$P_1(t') = P_1 \left(\frac{KM}{\pi Z_2} - t \right) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} T(\omega) S(\omega) \cdot e^{j\omega \left(\frac{KM}{\pi Z_2} - t \right)} d\omega, \quad (2)$$

где K – коэффициент, учитывающий расстояния и объем воздуха между нитями основы, утка и их деформацию в переплетении между собой.

Из зависимости (2) комплексный коэффициент прохождения можно представить следующим образом:

$$T(\omega) = \frac{T_{12} T_{21} \cdot e^{j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}}}{1 - R_{21}^2 \cdot e^{2j\left(\frac{\omega}{c_2} + j\alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}}}, \quad (3)$$

или

$$T(\omega) = \frac{4Z_1 Z_2 \cdot e^{\left(\frac{j\omega}{c_2} - \alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}}}{(Z_1 + Z_2)^2 \cdot \left[1 - \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \cdot e^{2\left(\frac{j\omega}{c_2} - \alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}} \right]}, \quad (4)$$

где α – коэффициент затухания ультразвуковых волн в ткани;
 ρ_2 – объемная плотность ткани.

Выражение (4) можно записать еще как сумму геометрической прогрессии в виде:

$$T(\omega) = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot e^{-(2N+1)\left(-j\frac{\omega}{c_2} + \alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}}, \quad (5)$$

где N – показатель, равный 0, 1, 2, 3, ..., ∞ , тогда сделав подстановку зависимости (5) в (2) ультразвуковой импульсный сигнал можно представить как:

$$P_1(t') = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot e^{-(2N+1)\left(-j\frac{\omega}{c_2} + \alpha\right) \frac{KM}{\pi \rho_2}} \cdot e^{j\omega\left(\frac{KM}{\pi Z_2} - t\right)} d\omega. \quad (6)$$

Как показали исследования, ультразвуковой импульс, излучаемый, имеет колоколообразную форму звуковое давление в котором равно:

$$P(t) = P_0 \cdot e^{-\left(\frac{2t \ln \sqrt{2}}{\tau_0}\right)^2} \cdot e^{j\omega_0 t}, \quad (7)$$

где P_0 – давление в волне импульса, падающего на контролируемую
 ткань;

τ_0 – длительность импульса.

Поскольку измеряется действительная часть выражения (7), тогда давление в ультразвуковой волне, падающей на ткань, можно представить следующим образом:

$$Re P(t) = P_0 \cdot e^{-\left(\frac{2t \ln \sqrt{2}}{\tau_0}\right)^2} \cdot \cos \omega_0 t. \quad (8)$$

Спектральную плотность такого сигнала можно записать следующим образом:

$$S(\omega) = \frac{P_0 \tau_0 \sqrt{\pi}}{2 \ln \sqrt{2}} \cdot e^{-\left(\frac{(\omega - \omega_0) \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2}. \quad (9)$$

Сделаем подстановку зависимости (9) в (6), тогда ультразвуковой импульсный сигнал, прошедший контролируемую ткань, можно представить в виде:

$$P_1(t') = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \frac{P_0 \tau_0}{4 \sqrt{\pi} \ln \sqrt{2}} \times \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{(\omega - \omega_0) \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}}\right)^2 - (2N+1) \left(-j \frac{\omega}{c_2} + \alpha\right) \cdot \frac{KM}{\pi \rho_2} + j \omega \left(\frac{KM}{\pi Z_2} - t\right)} d\omega. \quad (10)$$

Определив интеграл в (10) запишем импульсный сигнал в таком виде:

$$P_1(t') = P_0 \cdot \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \cdot \exp \left(-\left(\frac{\omega_0 \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}} \right)^2 - \frac{\alpha(2N+1)KM}{\pi \rho_2} \right) \times \exp \left(\frac{2j \left(\frac{KM((2N+1)+1)}{\pi Z_2} - t \right) \cdot \frac{2\omega_0 \tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2} + \left(\frac{2\omega_0 \tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2} \right)^2 - \left(\frac{KM((2N+1)+1)}{\pi Z_2} - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{2 \ln \sqrt{2}} \right)^2} \right). \quad (11)$$

$$P_1(t') = P_0 \cdot \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \sum_{N=0}^{\infty} \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^{2N} \times \exp \left(2j \frac{\left(\frac{KM((2N+1)+1)}{\pi Z_2} - t \right) \cdot \frac{2\omega_0 \tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2}}{\left(\frac{\tau_0}{2 \ln \sqrt{2}} \right)^2} \right) \times \exp \left(\frac{\left(\frac{2\omega_0 \tau_0^2}{(4 \ln \sqrt{2})^2} \right)^2 - \left(\frac{KM((2N+1)+1)}{\pi Z_2} - t \right)^2}{\left(\frac{\tau_0}{2 \ln \sqrt{2}} \right)^2} - \left(\frac{\omega_0 \tau_0}{4 \ln \sqrt{2}} \right)^2 - \frac{\alpha(2N+1)KM}{\pi \rho_2} \right).$$

Для ультразвукового импульсного сигнала с увеличением его длительности уменьшается амплитудная и фазовая погрешности по сравнению с непрерывным сигналом, при правильной настройке устройства контроля. Поэтому необходимо выбирать длительность ультразвукового импульсного сигнала так, чтобы амплитудная и фазовая погрешности приближались к наименьшим своим значениям, при этом не допуская переотражения ультразвуковых волн от поверхностей преобразователей и контролируемой ткани.

Поскольку контролируемые ткани, имеют разную массу M , их поры и расстояния между центрами нитей чаще всего разные, тогда соответственно и амплитуда ультразвукового импульсного сигнала будет меняться как показано на рис. 1.

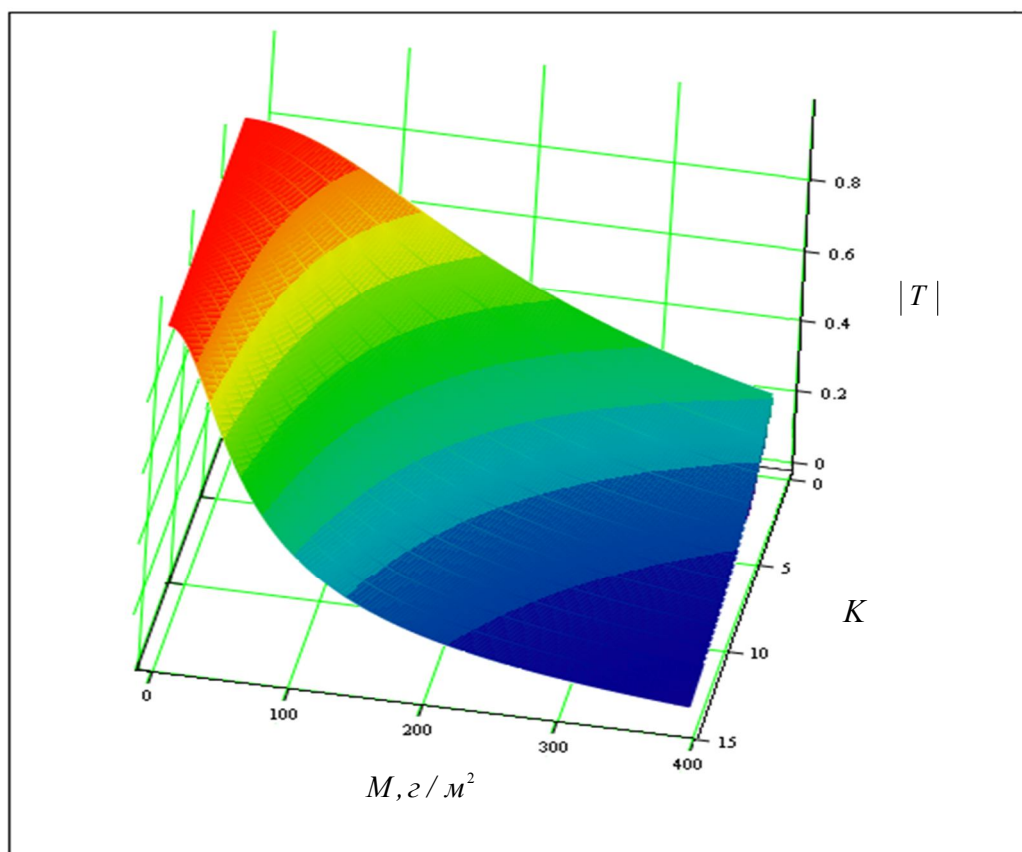


Рис. 1. Поверхность, которая показывает влияние массы M и изменения размеров пор, которые представлены коэффициентом K , на амплитуду ультразвуковой волны, прошедшей контролируемую ткань, которая представлена модулем $|T|$

Выводы. Полученные амплитудные зависимости для импульсного ультразвукового сигнала, прошедшего контролируемую ткань, которые

связаны с массой текстильного полотна. Рассмотрены особенности распространения ультразвуковых колебаний в тканях, которые зависят от различных размеров пор и других структурных показателей тканей, влияющих на прохождение волн. Показано, что для повышения достоверности контроля необходимо устранить погрешности измерения, вызванные многократным отражением от ниток и наложением волн. Указанное зависит еще и от положения самого текстильного полотна относительно преобразователей между которыми оно располагается, поэтому целесообразно применять импульсный ультразвуковой сигнал при контроле массы текстильных материалов.

Использованные источники информации:

1. Шкарлет Ю. М. Бесконтактные методы ультразвукового контроля / Ю. М. Шкарлет. – М.: Машиностроение, 1974. – 57 с.
2. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах / Л. М. Бреховских. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
3. Здоренко В. Г. Дослідження безконтактного ультразвукового контролю поверхневої щільності тканин полотняного переплетіння / В. Г. Здоренко, С. В. Барилко // Вісник КНУТД. – 2011. – №4(60). – С. 27–31.
4. Визначення зміни пористості тканини за зміною амплітуди відбитої ультразвукової хвилі / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, Н.М. Зацепкіна та ін.// Вісник КНУТД.–2012.– №3.– С.122 –127.