

2. Zarkadas, L. & Wiseman, J. (2001). Influence of processing variables during micronization of wheat on starch structure and subsequent performance and digestibility in weaned piglets fed wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*. 93. 93-107. DOI: 10.1016/S0377-8401(01)00266-8.
3. Zverev S.V. Tekhnika i tekhnologija infrakrasnogo nagreva v zernopererabotke // Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia, posviashchennaia pamiati Vasiliia Matveevicha Gorbatova. 2015. No. 1. S. 189-192.
4. Zverev, S.V. Vysokotemperaturnaia mikronizatsiia v proizvodstve zernoproduktov / S.V. Zverev. – Moskva: DeLi print, 2009. – 222 s.
5. Chandravanshi, M.L., & Mukhopadhyay, A.K. (2017). Dynamic analysis of vibratory feeder and their effect on feed particle speed on conveying surface. *Measurement*, 101, 145-156.
6. Gary P. Maul, M. Brian Thomas. (1997). A systems model and simulation of the vibratory bowl feeder. *Journal of Manufacturing Systems*, V. 16 (5): 309-314.
7. Chandravanshi, M. & Mukhopadhyay, A.K. (2015). Experimental modal analysis of the vibratory feeder and its structural elements. *Int. J. Appl. Eng. Res.* 10. 33303-33310.
8. Nagaev R.F. Periodicheskie rezhimy vibratsionnogo peremeshcheniia. – Moskva: Nauka, 1978. 160 s.
9. Fedorenko I.Ia., Pirozhkov D.N. Vibriruemyi zernistyi sloi v selskokhoziaistvennoi tekhnologii: monografiia. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2006. – 166 s.
10. Pirozhkov D.N. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov shnekovogo smesitelia nepreryvnogo deistviia dlia sukhikh sypuchikh ingredientov kombikormov: diss.. kand. tekhn. nauk. – Barnaul, 1999. – 161 s.
11. Fedorenko I.Ia. Kriterii podobiia gidrodinamicheskikh modelei vibrokipiashchego sloia sypuchego materiala / I.Ia. Fedorenko, D.N. Pirozhkov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2005. – No. 1. – S. 105-108.
12. Fedorenko I.Ia., Pirozhkov D.N. Dvizhenie chastitsy sypuchego materiala pod vozdeistviem vibratsii // Tr. XXXII Uralskogo seminar "Mekhanika i protsessy upravleniia". – Ekaterinburg, 2002. – S. 212-214.
13. Fedorenko, I.Ia. Modelirovanie vibratsionnykh protsessov i ustroistv APK: Laboratornyi praktikum dlia studentov i aspirantov vuzov / I.Ia. Fedorenko. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2020. – 147 s.
14. Blekhan I.I., Vasilkov V.B., Semenov Iu.A. Vibrotransportirovanie tel po nepostupatelno vibriruiushchei poverkhnosti // Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin. 2020. No. 4. S. 11-18.
15. Vliianie na traektoriiu dvizheniia chastitsy geometricheskikh i kinematicheskikh rezhimov raboty vibratsionnogo transportera / P.A. Savinykh, A.V. Aleshkin, A.Iu. Isupov [i dr.] // Vestnik NGIEI. – 2022. – No. 9 (136). – S. 7-19. – DOI 10.24412/2227-9407-2022-9-7-19.



УДК 620.179.16:677.31
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-237-7-70-77

Ц.И. Калинин, Р.А. Куницын, В.А. Осипов
Ts.I. Kalinin, R.A. Kunitsyn, V.A. Osipov

**ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОТОЧНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО УСТРОЙСТВА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ
ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ
ВОЛОКОННОГО СЫРЬЯ РОССИЙСКОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**SUBSTANTIATION OF USING A HIGH-PRECISION ULTRASONIC DEVICE FOR AUTOMATED CONTROL
OF THE PARAMETERS OF FIBROUS PRODUCTS FOR POSSIBLE USE IN ENTERPRISES PROCESSING
FIBER RAW MATERIALS OF THE RUSSIAN AGRICULTURAL PRODUCTION**

Ключевые слова: волокнистые материалы, продукты прядения, линейная плотность, неровнота, крепость и разрывность нити.

Keywords: fibrous materials, spun products, linear density, unevenness, thread strength and discontinuity.

Цель исследования – обоснование параметров ультразвукового устройства (датчика, вторичного цифрового прибора и системы обработки информации) для автоматизированного контроля параметров качества продуктов прядения на основе анализа проведенных измерений. Измерения проведены в технической лаборатории текстильного предприятия по программе текущего контроля, обеспечивающего стабильность технологического процесса прядения. Полученные фактические данные линейной плотности, неровноты и крепости нити, сравнивались по двум формам измерения – ультразвуковому затуханию и развесу, учитывались показатели отклонения величины линейной плотности от среднего значения коэффициент вариации и фактические показатели крепости нити. Крепость оценивалась по средней разрывной нагрузке нити (сН/Текс) и величине обрывности нити на прядильной машине (число обрывов 1000 веретен за 1 ч). Пробы для определения этих показателей отбирались на 2 цепочках чесальных и ленточных машин через каждый час работы поточной линии. Крепость нити определялась по фактической разрывной нагрузке одиночной нити на разрывной машине с фиксацией показателя (сН/Текс), обрывность нити – на выпуске кольцепрядильных машин (число обрывов 1000 веретен за 1 ч). Вырабатывалась типовая сортировка пряжи 25 Текс. Установлено, что ультразвуковое устройство позволяет производить измерения линейной плотности продуктов в полном диапазоне колебаний величины параметров; показатели измерений линейной плотности и неровноты по сигналам ультразвукового устройства получены в единицах развеса, со средней величиной погрешности относительно развеса по линейной плотности $\pm 2\%$, по неровноте $\pm 0,8\%$; показатели крепости пряжи на разрывной машине и обрывности на прядильной машине идентичны и однозначно характеризуют качество пряжи. Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод, что ультразвуковое устройство контроля линейной плотности и неровноты возможно применять как базовое средство для автоматизированного контроля показателей качества продуктов прядения.

It is proposed to achieve a wider use of Russian-made fiber raw materials in Russian cotton spinning mills by using a high-precision ultrasonic device for automated control and analysis of quality indices of spun products (ribbons, roving) in a wide range of yarns. The research goal is to substantiate the parameters of an ultrasonic device (sensor, secondary digital device and information processing system) for automated quality control of spun products based on the analysis of measurements. The measurements were carried out in the technical laboratory of the textile enterprise according to the program of current control ensuring the stability of the spinning technological process. The actual data obtained on the linear density, unevenness and strength of the thread were compared using two measurement forms: ultrasonic attenuation and weight. The indices of deviation of the linear density from the average value of the coefficient of variation and the actual strength of the thread were also taken into account. The strength was estimated by the average breaking load of the thread and the breakage rate on the spinning machine (the number of breaks of 1000 spindles per hour). These tests are shown by graphs of the deviation of the linear density of spinning products. Samples to determine these indices were taken on two chains of carding and belt machines every hour of the production line operation. Thread strength was determined by the actual breaking load of a single thread on a strength testing machine; the breakage rate was determined at the release of ring spinning machines (the number of breaks of 1000 spindles per hour). A typical yarn sorting of 25 Tex was performed. It was found that the ultrasonic device allowed measuring the linear density of products in the full range of fluctuations in the parameters. The measurement parameters of linear density and unevenness according to the signals of the ultrasonic device were obtained in units of weight, with an average error relative to the weight of linear density $\pm 2\%$, by unevenness $\pm 0.8\%$. The indices of yarn strength on the strength testing machine and breakage on the spinning machine were identical and uniquely characterized the quality of the yarn. The obtained research findings allow concluding that an ultrasonic device for monitoring linear density and unevenness may be used as a basic tool for automated quality control of spun products.

Калинин Цезарь Иванович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kalinin_vezar@mail.ru.

Куницын Роман Александрович, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Осипов Владислав Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: soagau@yandex.ru.

Kalinin Tsezar Ivanovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kalinin_vezar@mail.ru.

Kunitsyn Roman Aleksandrovich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: kynizin_roman@mail.ru.

Osipov Vladislav Andreevich, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: soagau@yandex.ru.

Введение

Дальнейшее совершенствование техники и технологии хлопкопрядения происходит в условиях ухудшения сырьевой базы, то есть текстильная промышленность не обеспечивается

хлопковым волокном требуемого ассортимента в необходимом количестве и требуемого качества, поэтому вопросы волокнобережения и расширения ассортимента волокон весьма актуальны.

Важнейшим вопросом достижения высокого качества продуктов прядения и, как следствие, повышения эффективности прядильных процессов является применение устройств автоматизированного контроля, в том числе измерителей и анализаторов линейной плотности и неровноты продуктов прядения.

Современный процесс хлопкопрядения формирует продукты в виде отдельных паковок, в которых продукт ограничен по длине и основным показателем качества продукта является развес – вес продукта определенной длины и колебания этой величины развеса – неровнота в процентах, коэффициент вариации [1].

Однако оценка продуктов прядения и стабильности технологических процессов по развесу путем взвешивания не позволяет автоматизировать процессы контроля и оперативного управления технологического процесса прядения, что обусловило применение других косвенных показателей развеса. Наибольшее применение имеют приборы и системы Устер-Тестер, в которых оценка развеса и неровноты производится по диэлектрическим показателям продукта емкостным методом измерения. Практика применения этого метода позволяет удовлетворительно стабилизировать многие процессы хлопкопрядения для определенных сортировок хлопковых волокон [1].

В современных условиях приобретение и обслуживание приборов Устер жестко ограничено и требует специальных исследований при расширении ассортимента волокон. Нами предлагается использовать для решения вышеизложенных задач ультразвуковой акустический метод, то есть определение линейной плотности и неровноты продуктов прядения по величине затухания в поперечном сечении продукта акустических сигналов ультразвуковой частоты [5, 8, 10].

В работе дано обоснование возможности применения ультразвукового метода для решения поставленной задачи путем измерения показателей линейной плотности и неровноты по двум видам измерения (по развесу и показателям ультразвукового затухания) выбранных паковок волокнистой ленты по программе текущего контроля в технологической лаборатории текстильных предприятий [1, 5, 10].

Цель исследования – обоснование возможности применения ультразвукового акустического метода для автоматизированного контроля

показателей качества продуктов прядения на основе анализа проведенных на х/б предприятии сравнительных измерений параметров пряжи с помощью предложенного высокоточного ультразвукового устройства и стандартного весового метода.

Задачи исследования:

- провести сравнительные измерения параметров пряжи на текстильном предприятии для типового ассортимента пряжи;
- выполнить анализ показателей пряжи на основе проведенных измерений;
- произвести анализ и определить величину показателей точности ультразвукового акустического устройства.

Объект исследования

Блок-схема ультразвукового датчика и прибора для измерения акустического затухания на ультразвуковой частоте представлена на рисунках 1, 2.

Разработанное устройство состоит из датчика и регистрирующего прибора.

Схема датчика приведена на рисунке 1. Датчик содержит разъемный корпус 1, в который встроены излучатель 2, приемник 3 и дополнительный приемник реперного канала 4 [5, 10].

Модуль излучателя 2 представляет собой пьезопреобразователь двухстороннего излучения. Модули приемников 3, 4 выполнены в виде одностороннего пьезопреобразователя и размещены по обеим сторонам излучателя, образуя измерительный 6 и реперный 5 каналы.

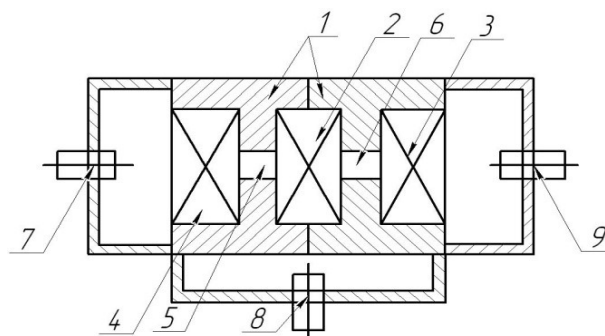


Рис. 1. Блок-схема ультразвукового датчика:
 1 – корпус; 2 – излучатель; 3, 4 – приемники;
 5, 6 – рабочие полости (каналы);
 7-9 – электроразъемы

При пропускании через основной канал волокнистого продукта в его приемнике (модуле 1) формируется сигнал затухания по напряжению, в дальнейшем сравнивается с сигналом допол-

нительного канала, что устраняет влияние на измерения внешней среды [5, 10].

Блок-схема цифрового прибора приведена на рисунке 2.

Схема содержит генератор электрических ультразвуковых сигналов 1, усилитель с АРУ 2, пьезоизлучатель 3, приемники акустических колебаний 4, 5, образец акустической нагрузки 11, образец исследуемого волоконного материала 12; усилители 6 и 9, источник опорного сигнала 7, блок автоматического регулирующего устройства АРУ 8, регистрирующий прибор 10.

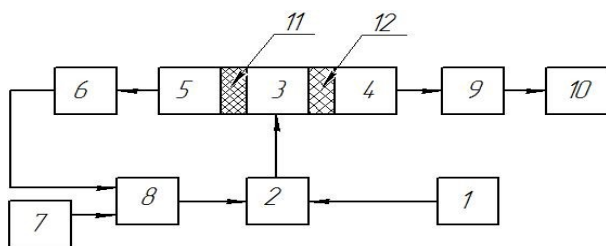


Рис. 2. Блок-схема цифрового прибора

Основными элементами устройства являются датчик (блоки 1-4) и регистрирующий прибор 10. Устройство отличается наличием двух каналов: измерительного (блок 12) и реперного (блок 11).

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

В реперном канале акустические колебания, изменяясь по амплитуде и фазе под действием окружающей среды и акустической нагрузки, принимаются приемником 5, усиливаются усилителем 6 и поступают на вход блока 8 фазовой автоподстройки частоты и корректируют сигнал генератора в блоке 2, компенсируя влияние внешних возмущений, тем самым, поддерживают постоянную интенсивность излучения акустических колебаний в канале датчика [5, 10].

Параметры продуктов прядения. Продукты прядения оцениваются в виде веса паковок определенной длины (развес в единицах Текс). Колебания массы отрезков оценивают в виде относительных единиц в процентах от среднего значения (неровнота).

В лабораториях текстильных предприятий производят текущий выборочный контроль показателей продуктов прядения, в том числе по

развесу и неровноте, что определяет показатели качества продукта и характеризует стабильность технологического процесса прядения [1].

В современных эффективных сокращенных системах прядения только автоматизированный контроль качества полуфабрикатов (по линейной плотности и неровноте) позволяет обеспечить высокое качество пряжи и стабилизировать технологический процесс прядения, и поэтому разработка и применение отечественных систем автоматизированного контроля продуктов прядения является весьма актуальной задачей [5, 8, 9, 13].

Экспериментальная часть

Измерения производились в технологической лаборатории текстильного предприятия по программе текущего контроля и анализа стабильности технологического процесса и определения показателей качества текстильной ленты на трех переходах поточной линии (чесальная лента, ленточная лента первого перехода, ленточная лента второго перехода) путем взвешивания (развес) и по затуханию ультразвукового сигнала в датчике. Показатели крепости нити оценивались по результатам физических испытаний крепости по разрывной нагрузке одиночной нити и по обрывности нити на кольцепрядильной машине. Пробы для определения показателей выбирались на основе общей методики контроля [1].

На рисунке 3 приведены графики фактических значений линейной плотности (по развесу и ультразвуковому затуханию):

- 1) чесальная лента;
- 2) лента с ленточной машины первого перехода;
- 3) лента с ленточной машины второго перехода;
- 4) пряжа.

Методика проведения измерений предусматривала в каждом случае в течение 10 ч на чесальной машине через 12 мин. работы проверку линейной плотности ленты по массе 5-метровых отрезков. Такими же отрезками проверяли линейную плотность пряжи определяли по 10 выпускам кольцепрядильной машины. Из графиков следует, что чесальная лента укладывается в диапазон от ± 15 до $\pm 20\%$ при наличии дрейфа.

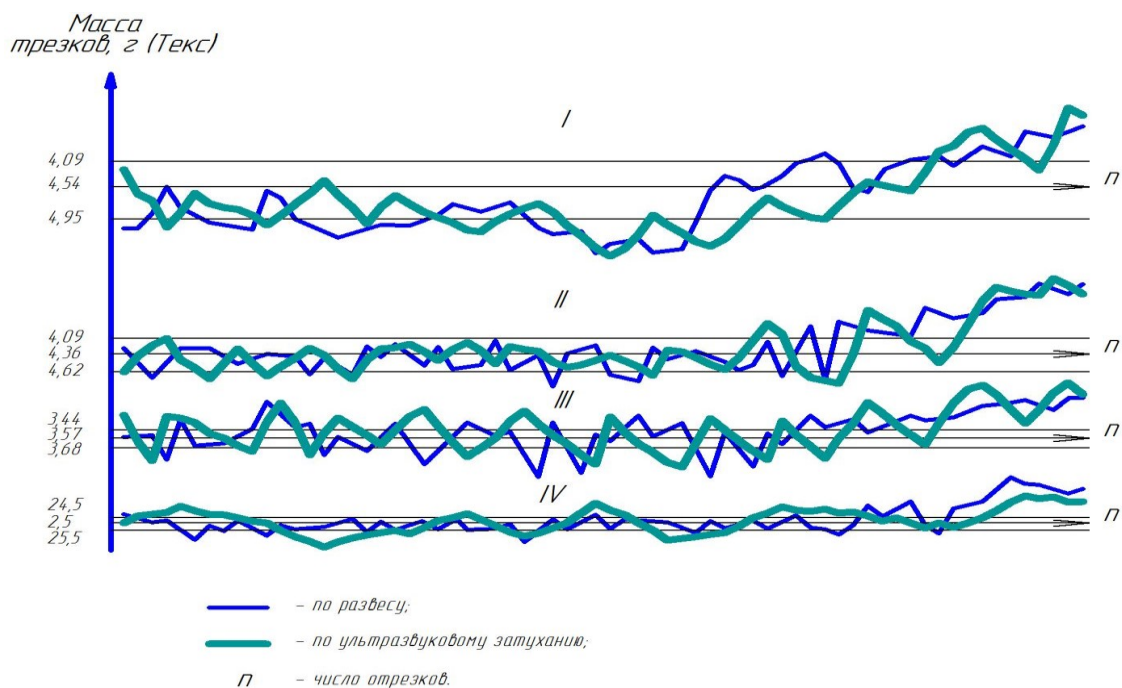


Рис. 3. Графики фактических значений линейной плотности

Таблица 1

Физико-механические показатели пряжи для двух способов измерения

Показатель	По развесу	По затуханию ультразвука
Средняя масса отрезков чесальной ленты, Текс	4550	4600
Коэффициент вариации чесальной ленты, %	4,6	4,62
Линейная плотность пряжи, Текс	25,1	25,0
Средняя разрывная нагрузка по одиночной нити, сН/Текс	13,5	13
Коэффициент вариации пряжи, %		
- по линейной плотности	3,8	3,6
- по разрывной нагрузке	11,2	11
Обрывность нити на 1000 вер/ч, раз	68	61
Показатель точности:		
- по линейной плотности, %	Эталон	до ±2
- по неровноте, %		±0,8

Ленточная лента первого перехода укладывается в диапазон от ±6% до ±15%, ленточная лента второго перехода – от ±3% до ±6% также при наличии дрейфа.

Пряжа 25 Текс в диапазоне ±2%, число обрывов на 1000 вер/ч составляет 68 раз.

В таблице 1 представлены сравнительные данные, характеризующие показатели качества чесальной ленты и нити по двум способам измерения.

По результатам исследования установлено:

- показатели отклонений линейной плотности чесальной ленточной ленты и пряжи (рис. 3) отличаются по двум способам измерения незначительно;

- данные сравнительных испытаний чесальной ленты и крепости, приведенные в таблице 1, показывают, что отклонения по величине линей-

ной плотности и неровноте (коэффициенту вариации) практически совпадают и позволяют однозначно прогнозировать крепость пряжи по испытаниям на прочность одиночной нити и показателям разрывности на кольцепрядильной машине.

Результаты исследований и их обсуждение

Для обеспечения эффективного и надежного автоматизированного контроля параметров продуктов прядения по линейной плотности и неровноте на основе показателей ультразвукового затухания следует:

- дать теоретическое и экспериментальное обоснование показателей затухания ультразвуковых акустических волн в газовой среде (в воздухе при атмосферном давлении);

- обеспечить необходимую величину точности показателей ультразвукового затухания для однозначного определения показателей качества продуктов прядения в статике и динамике.

Затухание ультразвука – это явление перехода энергии ультразвуковой волны в другие виды энергии, в том числе и в тепловую энергию, противофазовое ослабление сигнала и т.д. Показатель α_z определяется как обратная величина расстояния на котором амплитуда звуковой волны затухает в e (2,7 раза) [2, 3, 11, 12].

Амплитуда плоской ультразвуковой волны бегущей вдоль оси x убывает с расстоянием как $e^{-\alpha x}$, а интенсивность как $e^{-2\alpha x}$. Также показатель затухания можно характеризовать коэффициентом потерь $E = \frac{L\lambda}{\pi}$, где L – длина ультра-

звуковой волны; величина $L\lambda$ логарифмический декремент затухания

Для продольной волны показатель затухания определяют по формуле:

$$\alpha_z = \frac{\omega^2}{2\rho c^2} \left[\left(\frac{4}{3\eta} + \xi + \chi \left(\frac{1}{c_v} - \frac{1}{c_p} \right) \right) \right],$$

где ρ – плотность среды;

ω – круговая частота, $\omega=2\pi f$;

η, ξ – коэффициенты сдвиговой и объемной вязкости среды;

χ – коэффициент теплопроводности;

c_v, c_p – теплоемкость среды в объеме и давлении.

Показатели затухания в воздухе приведены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели затухания ультразвука в воздухе

Газ	Частота, f , кГц	Давление, P , атм.	$\alpha_z/f^2 \cdot 10^{13}, C^2$	
			эксперимент	теория
Воздух	132-400	1,0	2,94-3,99	1,24

Из данных таблицы 2 следует, что оптимальная частота ультразвуковых колебаний в воздухе находится в пределах 132-400 кГц, что обусловило выбор частоты ультразвукового устройства 150 кГц.

Обеспечение величины необходимой точности ультразвукового затухания определили в процессе эксперимента при выборочном контроле показателей качества продуктов прядения по типовой методике анализа [1].

При этом дополнительно фиксировали погрешности в статике и динамике относительно значений по развесу. Основные погрешности метода ультразвукового затухания сгруппировали в 2 класса задач. К первому классу относят задачи повседневной проверки параметров устройства в статике. Такую проверку и подстройку осуществляет на стандартных образцах акустической нагрузки. Стандартный образец (рис. 3) изготавливают из стальной сетки с вложением в нее волокнистого материала и из средневолокнистого хлопка и коэффициентом загрузки в 50%. Общий вид образца представлен на рисунке 4.

Образец акустической нагрузки устанавливают в рабочий канал датчика и фиксируют показатель затухания после прогрева изделия в

течение 10 мин. «Уход» рабочей точки фиксируют в журнал и подстраивают до номинального значения с погрешностью ± 1 значения шкалы. После завершения измерений также фиксируют уход рабочей точки, допускается не более ± 3 ед. Например, показатель точности в статике при $N_{ном}=4000$ Текс, максимальный уход не более 6 ед., процент точности составляет 0,15%.

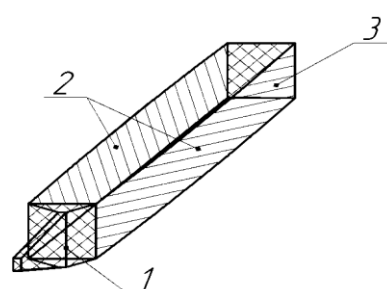


Рис. 4. Общий вид образца акустической нагрузки:
1 – рукоятка; 2 – боковые стенки;
3 – задняя стенка

Второй класс задач в динамике определяют при контрольных испытаниях параметров продуктов прядения. В процессе испытаний зафиксированы следующие показатели погрешности (табл. 3).

Основные значения погрешностей ультразвукового устройства для измерения линейной плотности волокнистых продуктов

Наличие погрешности	Сортовые погрешности	Погрешности акустического тракта	Погрешности нелинейности	Технологические погрешности
Величина погрешности, %	±1	±0,2	±0,2	±0,3
Итого, %	1,7			

Из вышесказанного следует:

- Сортовые погрешности вызваны рассортировкой волокон в продуктах прядения и характеризуют стационарность процесса прядения [5].
- Погрешности акустического тракта датчика зависят от вида материала, размеров и качества обработки рабочего канала датчика [4, 7].
- Погрешности от нелинейности вызваны показателями стабильности АЦП преобразователя в электрической схеме.
- Под технологическими погрешностями понимают погрешности, вызванные технологическими разбросами конструкции ультразвукового датчика, имеют место, если не производились индивидуальная тарировка и настройка.

Выводы

- Ультразвуковое устройство позволяет производить измерения линейной плотности и неровноты (коэффициент вариации) продуктов прядения в полном рабочем диапазоне (3000-6000 Текс).
- Показатели измерения линейной плотности и неровноты в двух системах отсчета (ультразвуковое затухание – развес) получены с максимальной погрешностью не более ±2% в динамике и 0,15% в статике.
- Установленные величины показателей по крепости и обрывности нити совпадают и позволяют вырабатывать пряжу высокого качества.

Предложено использовать результаты исследования при разработке рабочего варианта устройства ультразвукового контроля продуктов прядения для широкого применения на различных предприятиях переработки волокнистых продуктов.

Библиографический список

1. Белицин, Н. М. Справочник по хлопкопрядению / Н. М. Белицин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1955. – 728 с. – Текст: непосредственный.

2. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Л. Бергман; под редакцией В. С. Григорьева, Л. Д. Розенберга. – Москва: Иностранная лит-ра, 1956. – 726 с. – Текст: непосредственный.

3. Голямина, И. П. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / И. П. Голямина. – Москва: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с. – Текст: непосредственный.

4. Ермолов, И.Н. Неразрушающий контроль: практическое пособие: в 5 книгах. Кн. 2: Акустические методы контроля / И. Н. Ермолов, Н. П. Алешин, А. И. Потапов. – Москва: Высшая школа, 1991. – 283 с. – Текст: непосредственный.

5. Калинин, Ц. И. Экспрессный контроль линейной плотности волокнистой ленты: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.19.03 / Калинин Цезарь Иванович. – Москва, 1990. – 149 с. – Текст: непосредственный.

6. Кикучи, Е. Ультразвуковые преобразователи / Е. Кикучи. – Москва: Мир, 1972. – 424 с. – Текст: непосредственный.

7. Ключев, В. В. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: справочник: в 2 книгах / В. В. Ключева. – Москва: Машиностроение, 1976. – 391 с. – Текст: непосредственный.

8. Костюков, А. Ф. Метод ультразвукового контроля параметров сельскохозяйственного волоконного сырья: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.02 / Костюков Анатолий Федорович. – Барнаул, 2012. – 141 с. – Текст: непосредственный.

9. Кукин, Г. Н. Текстильное материаловедение. Исходные текстильные материалы / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев. – Москва: Ростехиздат, 1985. – 302 с. – Текст: непосредственный.

10. Куницын, Р. А. Метод ультразвукового экспресс-контроля тонины неупорядоченного образца мериносной шерсти: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.02 / Куницын Роман Алексан-

дрович. – Барнаул, 2013. – 178 с. – Текст: электронный.

11. Лепендин, Л. Ф. Акустика / Л. Ф. Лепендин. – Москва: Высшая школа, 1978. – 448 с. – Текст: непосредственный.

12. Мезон, У. Физическая акустика / У. Мезон. – Москва: Мир, 1969. – 908 с. – Текст: непосредственный.

13. Патент № 2465582, G01N29/00, 2006 г. Российская Федерация, МПК G01N29/00. Способ определения тонины волокон / Калинин Ц. И., Куницын Р. А., Багаев А. А.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АГАУ «Алтайский государственный аграрный университет». – № 2011116334/28; заявл. 25.04.2011; опубл. 2012.10.27, Бюл. № 30. – 7 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Belitsin N.M. Spravochnik po khlopkopriadeniiu Izd. 2, pererab. i dop. / N.M. Belitsin. – Moskva: Legkaia i pishchevaia promyshlennost, 1955. – 728 s.

2. Bergman L. Ultrazvuk i ego primeneniye v nauke i tekhnike / L. Bergman; pod red. V.S. Grigoreva, L.D. Rozenberga. – Moskva: Izdatelstvo inostrannoi literatury, 1956. – 726 s.

3. Goliamina I.P. Ultrazvuk. Malenkaia entsiklopediia / I.P. Goliamina. – Moskva: Sovetskaia entsiklopediia, 1979. – 400 s.

4. Ermolov I.N. Nerazrushaiushchii kontrol / I.N. Ermolov, N.P. Aleshin, A. I. Potapov. - V 5 kn. Kn. 2. Akusticheskie metody kontrolya: prakt. posobie. – Moskva: Vyssh. shk., 1991. – 283 s.

5. Kalinin Ts.I. Ekspresnyi kontrol lineinoi plotnosti voloknistoi lenty: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.19.03. Kalinin Tsezar Ivanovich. – Moskva, 1990. – 149 s.

6. Kikuchi E. Ultrazvukovye preobrazovateli / E. Kikuchi. – Moskva: Mir, 1972. – 424 s.

7. Kliuev V.V. Pribory dlia nerazrushaiushchego kontrolya materialov i izdelii: spravochnik. V 2-kh kn. – Moskva: Mashinostroeniye, 1976. – 391 s.

8. Kostiukov A.F. Metod ultrazvukovogo kontrolya parametrov selskokhoziaistvennogo volokonogo syria: dis. ... kand. tekhn. nauk; 05.20.02; zashchishchena 30.03.12. – Barnaul, 2012. – 141 s.

9. Kukin G.N. Tekstilnoe materialovedeniye. Iskhodnye tekstilnye materialy / G.N. Kukin, A.N. Solovov. – Moskva: Rostekhzdat, 1985. – 302 s.

10. Kunitsyn R.A. Metod ultrazvukovogo ekspres-kontrolya toniny neuporiadochennogo obraztsa merinosnoi shersti: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.02 / Kunitsyn Roman Aleksandrovich. – Barnaul, 2013. – 178 s.

11. Lependin L.F. Akustika. / L.F. Lependin. – Moskva: Vysshaia shkola, 1978. – 448 s.

12. Mezon U. Fizicheskaia akustika / U. Mezon. – Moskva: Mir, 1969. – 908 s.

13. Sposob opredeleniia toniny volokon. Patent No. 2465582, G01N29/00, 2006 g. Rossiiskaia Federatsiia, MПК G01N29/00 / Kalinin Ts.I., Kunitsyn R.A., Bagaev A.A., FGOU VPO AGAU "Altaiiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet" – No. 2011116334/28, zaiavl. 25.04.2011 g.



УДК 62-83

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-237-7-77-84

А.Ю. Кузнецов, В.А. Понуровский,
И.Ю. Александров, М.В. Кокшарова
A.Yu. Kuznetsov, V.A. Ponurovskiy,
I.Yu. Aleksandrov, M.V. Koksharova

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ И ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ

VARIABLE-FREQUENCY ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH PULSE-WIDTH MODULATION AND IDENTIFICATION OF ITS OPERATION MODES

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, асинхронный электродвигатель, диаграммы модулей обобщенных векторов, эквивалентные схемы замещения.

Keywords: variable-frequency drive (VFD), asynchronous motor, generalized vector module diagrams, equivalent substitution circuits.