

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ДВУХВОЛНОВОЙ МЕТОД ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ РАСТИТЕЛЬНОГО ВОЛОКНА

О.Х. Кулдашов

kuldashov.abbos@mail.ru

Г.О. Кулдашов

golibjon1985@mail.ru

З.Ю. Мамасодикова

mamasadikov52@bk.ru

Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада ал-Хоразмий (Ферганский филиал),
г. Фергана, Республика Узбекистан

Аннотация

Предложен оптоэлектронный двухволновой метод для дистанционного контроля влажности растительного волокна. Для повышения качества материалов, получаемых из растительного волокна, необходимы правильная организация его хранения и соблюдение оптимальных режимов технологии переработки на всех этапах производства. Правильное складирование и выбор технологии переработки зависят от качественных показателей растительного волокна, а именно его влажности. Показано, что в настоящее время применяемые методы и приборы контроля влажности волокна не отвечают требованиям экспрессности и необходимой точности измерений. Выявлена актуальность разработки высокочувствительных, точных и надежных приборов контроля влажности волокна с применением новых высокоэффективных полупроводниковых источников излучения в ближней ИК-области. Приведена блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля влажности растительного волокна. В устройстве в качестве источников излучения использованы светодиоды LED19-PR, имеющие типичный максимум длины волны излучения 1,95 мкм. Приведены результаты дистанционного контроля влажности растительного волокна

Ключевые слова

Оптоэлектроника, устройство, влагомеры, влажность растительного волокна, дистанционный контроль, поглощение, светодиоды, фотоприемники, ИК-диапазон

Поступила 27.11.2018

© Автор(ы), 2019

Введение. Агропромышленный комплекс Республики Узбекистан занимает одно из ведущих мест в развитии экономики республики. Основными продуктами агропромышленного комплекса являются растительное

волокно (хлопок сырца) и продукты его переработки (хлопковые семена и продукты переработки хлопка) и др. В приемке и технологической переработке продуктов агропромышленного комплекса участвуют технологические процессы, такие как сушка, кондиционирование, увлажнение, пастеризация и хранение [1]. Среди параметров контроля и управления технологическими процессами важнейшим является влажность. Например, влажность растительного волокна (хлопка-сырца) определяется перед сбором и при технологической переработке. Ненадлежащий контроль влажности приводит к нежелательным последствиям.

Повышение качества получаемых материалов возможно при правильной организации хранения растительного волокна (хлопка-сырца) и соблюдения оптимальных режимов технологии переработки на всех этапах. Правильное складирование и выбор технологической переработки зависят от качественных показателей волокна, а именно его влажности. Существующие в настоящее время методы и приборы контроля влажности растительного волокна (хлопка-сырца) не отвечают требованиям экспрессности, хотя обладают необходимой точностью измерений.

В настоящее время известно множество методов и на их основе разработано множество автоматических приборов для непрерывного контроля влажности. Наиболее распространенным является термогравиметрический метод, который часто используют в качестве образцового для влагомеров косвенного определения содержания влаги. Точность его довольно высока, поэтому он используется для метрологического обеспечения новых типов влагомеров.

Наиболее существенным недостатком термогравиметрического метода является длительность измерения. Вследствие этого модернизация метода направлена на повышение его экспрессности.

Термогравиметрический метод определения содержания влаги требует длительного времени измерения и он достаточно громоздкий, однако, имеет малую погрешность измерения. Для измерения влажности растительного волокна наибольшее распространение получили кондуктометрические, диэлькометрические и СВЧ-методы [2].

В кондуктометрическом методе влагосодержание оценивается по результатам измерения электрического сопротивления (объемного или поверхностного) [3]. Кондуктометрический метод применяется для определения влажности волокна (хлопка-сырца) в диапазоне от 2 до 30 %. При влажности более 30 % метод имеет высокую чувствительность из-за степенной зависимости сопротивления от влажности. Главным достоинством этого метода является простота схемы и конструкции измеритель-

ного прибора. Однако влияние на результат измерения химического состава исследуемого вещества, температуры, уплотнения, а также узкий диапазон измерения ограничивают область применения кондуктометрического метода.

Диэлькометрический метод основан на измерении диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь влажных материалов и веществ в широком диапазоне частот — от звуковых частот до СВЧ [4].

Основные характеристики исследуемого материала — это зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь от влагосодержания, частоты переменного поля, температуры, плотности и т. д. Достоинствами этого метода по сравнению с кондуктометрическим являются меньшая чувствительность к уплотнению и температуре материала, быстрое действие и высокая точность (погрешность ~ 0,5 %). При использовании этого метода на влажностных, частотных и температурных характеристиках сильно сказывается уплотнение материала в первичном преобразователе и гранулометрический состав материала. Для устранения этого недостатка используют принудительное уплотнение материала. На результат измерения влажности диэлькометрическим методом влияют соотношение количества влаги различных состояний и видов связи, большие проводимости и другие факторы.

Сверхвысокочастотные методы определения влажности отличаются высокими чувствительностью, точностью и возможностью бесконтактных измерений. Принцип действия СВЧ-влажномеров основан на определении влажности по отраженным волнам. В качестве информативного параметра используются амплитуда, фаза, угол поворота плоскости поляризации линейно поляризованной плоской электромагнитной волны. Основные модификации этих методов — волноводный, резонаторный и метод измерений в свободном пространстве.

Несомненным достоинством СВЧ-приборов является незначительная чувствительность к физико-химическим свойствам исследуемых веществ и материалов. Дальнейшее улучшение их метрологических характеристик связано с переходом от среднего и коротковолнового диапазонов к сантиметровому и миллиметровому. Однако СВЧ-влажмеры не получили пока широкого распространения, что, по-видимому, является следствием сложности и дороговизны аппаратуры.

Основная часть. Бурное развитие оптоэлектроники и ее элементной базы, новые высокоэффективные полупроводниковые источники излучения в ближней ИК-области спектра — все это создает предпосылки для

разработки высокочувствительных и точных, надежных приборов контроля влажности различных материалов.

В спектральном диапазоне 1,9...2,1 мкм имеются линии поглощения паров воды, CO₂ и других газов, что делает источники излучения в этой спектральной области перспективными для создания газоанализаторов [5, 6]. Приборы для измерения влажности широко используются в технике, в частности для технологического контроля. Несмотря на то, что в этой спектральной области работают лазеры при комнатной температуре, в ряде практических применений, не требующих высокого спектрального разрешения, используются светодиоды и даже тепловые источники излучения [7, 8]. Лазеры являются, с одной стороны, более дорогостоящими приборами, а с другой, — совмещение узкой линии излучения лазера с линией поглощения газа усложняет измерительную установку при использовании прецизионного температурного подогрева. По сравнению с тепловыми источниками излучения светодиоды имеют то преимущество, что они излучают достаточно узкую спектральную линию, поэтому не требуют применения оптических фильтров, и кроме того допускают электрическую модуляцию вместо использования механических модуляторов [9, 10].

Впервые метод измерения концентраций атмосферных газов, использующий избирательное поглощение газами оптического излучения, предложил Счетленд в 1964 г. [11]. Метод заключается в том, что информация о концентрации исследуемого газа извлекается из сравнения двух регистрируемых оптических излучений с разными длинами волн. Длина волны, которая лежит в максимуме спектральной полосы поглощения анализируемого газа, — это измерительная длина волны, а которая лежит вне полосы поглощения анализируемого газа — это опорная длина волны. При этом на измерительном потоке излучения избирательное поглощение, анализируемое газом, велико, а на опорном — отсутствует. Данный метод назван методом дифференциального поглощения рассеянной энергии [12].

Разработан оптоэлектронный двухволновой метод, который является модификацией стандартного метода и рассчитан для дистанционного контроля влажности растительного волокна (хлопка-сырца).

Принцип двухволнового метода заключается в следующем: волокно (хлопок) облучается двумя противофазными прямоугольными последовательностями импульсов с длинами волн, лежащими в максимуме поглощения контролируемым компонентом (измерительной) и вне максимума поглощения этим компонентом (опорной). При этом в случае использования коллимированных потоков излучения достигающий поток излучения к поверхности волокна (хлопка) определяется как

$$\Phi'_{0\lambda_1} = \omega_{\lambda_1} \Phi_{0\lambda_1}; \quad (1)$$

$$\Phi'_{0\lambda_2} = \omega_{\lambda_2} \Phi_{0\lambda_2}, \quad (2)$$

где ω_{λ_1} и ω_{λ_2} — коэффициенты пропускания атмосферы на опорных и измерительных длинах волн. Отраженные от поверхности растительного волокна (хлопка-сырца) потоки излучения на опорных и измерительных длинах волн пройдут дистанцию L и воспринимаются одним и тем же приемником излучения. Отметим, что из-за своеобразной структуры образования растительного волокна (хлопка-сырца) его отражающую поверхность можно считать диффузионной [13–15]. Поэтому потоки, достигающие поверхность приемника излучений, можно определить как

$$\Phi_{\lambda_1} = \omega_{\lambda_1} \gamma_{\lambda_1} I_{0\lambda_1} \frac{S_{\text{ФП}}}{L^2} e^{-k_1 m_1}; \quad (3)$$

$$\Phi_{\lambda_2} = \omega_{\lambda_2} \gamma_{\lambda_2} I_{0\lambda_2} \frac{S_{\text{ФП}}}{L^2} e^{-k_2 m_1} e^{-k_2 m_2}, \quad (4)$$

где γ_{λ_1} , γ_{λ_2} и $I_{0\lambda_1}$, $I_{0\lambda_2}$ — коэффициенты отражения и интенсивность отраженного потока излучения от поверхностного слоя волокна (хлопка) на опорных и измерительных длинах волн; $S_{\text{ФП}}$ — площадь входного зрачка фотоприемника (ФП) излучений; L — расстояние дистанции контроля; k_1 и k_2 — коэффициенты рассеяния объекта контроля на длинах волн λ_1 и λ_2 ; m_1 — масса контролируемого объекта; m_2 — масса влаги.

В оптоэлектронных устройствах с функциональной разверткой амплитуда одного потока излучения (например, измерительного) поддерживается постоянной, а амплитуда другого потока модулируется во времени по экспоненциальному закону.

Пусть амплитуда опорного потока излучения изменяется по спадающему экспоненциальному закону, т. е.

$$\Phi_{0\lambda_1} = A e^{-t/\tau}, \quad (5)$$

где A — амплитуда начального потока излучения на опорных длинах волн; t — текущее время экспоненты; τ — постоянная времени экспоненты.

Тогда выражение (3) получит вид

$$\Phi_{\lambda_1} = A \omega_{\lambda_1} \gamma_{\lambda_1} I_{0\lambda_1} \frac{S_{\text{ФП}}}{L^2} e^{-k_1 m_1} e^{-t/\tau}. \quad (6)$$

Приравнивая потоки $\Phi_{\lambda_1} = \Phi_{\lambda_2}$, получаем

$$A \omega_{\lambda_1} \gamma_{\lambda_1} \frac{S_{\text{ФП}}}{L^2} e^{-k_1 m_1} e^{-t_{\text{сп}}/\tau} = \omega_{\lambda_2} \gamma_{\lambda_2} I_{0\lambda_2} \frac{S_{\text{ФП}}}{L^2} e^{-k_2 m_1} e^{-k_2 m_2}, \quad (7)$$

где $t_{\text{сп}}$ — момент сравнения потоков Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} .

Если длину волны опорного потока излучения выбрать достаточно близкой к длине волне измерительного потока, то можно считать, что $\omega_{\lambda_1} = \omega_{\lambda_2}$, $\gamma_{\lambda_1} = \gamma_{\lambda_2}$, $k_1 = k_2$. Тогда при условии равных начальных потоков излучения имеем

$$e^{-t_{\text{ср}}/\tau} = e^{-k_2 m_2} \quad (8)$$

или

$$m_2 = \frac{1}{k_2 \tau} t_{\text{ср}}. \quad (9)$$

Из последнего выражения следует, что масса влаги растительного волокна (хлопка сырца) пропорциональна моменту сравнения $t_{\text{ср}}$, так как $1/(k_2 \tau)$ является постоянной величиной.

Блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля влажности приведена на рис. 1.

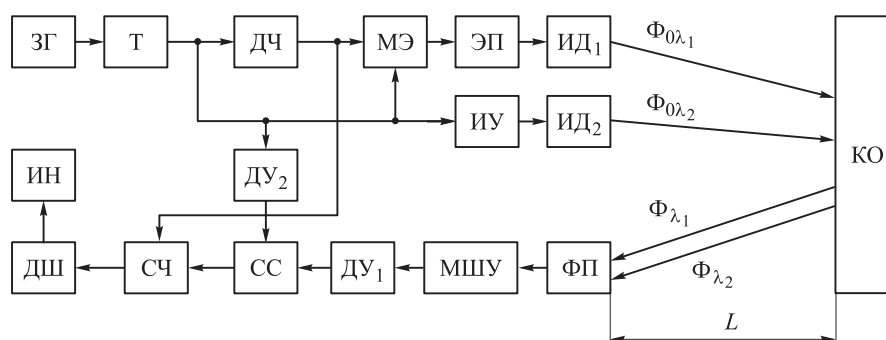


Рис. 1. Блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля влажности растительного материала

Устройство работает следующим образом: прямоугольные импульсы с выхода задающего генератора (ЗГ) воздействуют на счетный вход триггера (Т), в результате на выходе последнего формируются симметричные прямоугольные импульсы. Сформированные импульсы с выхода Т поступают на вход второго дифференцирующего устройства (ДУ₂), на вход импульсного усилителя (ИУ) и на управляющий вход модулятора экспоненты (МЭ), а через делитель частоты (ДЧ) — на запускающий вход МЭ.

С выхода МЭ промодулированные по экспоненциальному закону прямоугольные импульсы через эмиттерный повторитель (ЭП) подаются на опорный излучающий диод (ИД₁).

Противофазные экспоненциальному импульсу прямоугольные импульсы с выхода ИУ подаются на измерительный ИД₂. В результате чего опор-

ный ИД₁ излучает импульсные потоки $\Phi_{0\lambda_1}$ на длине волны $\lambda_1 = 2,1$ мкм (отсутствует поглощение воды).

Амплитуда данного потока излучения изменяется во времени по спадающему экспоненциальному закону. Измерительный ИД₂ излучает импульсные потоки $\Phi_{0\lambda_2}$ на длине волны $\lambda_2 = 1,95$ мкм (происходит максимум поглощения углеводородом). Амплитуда измерительного потока во времени постоянна. Таким образом, контролируемый объект облучается двумя противофазными импульсными потоками $\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$. При этом потоки излучения $\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$, пройдя дистанцию L , достигают поверхности волокна (хлопка) и отражаются от него. Отраженные потоки от поверхности растительного волокна (хлопка-сырца) на опорных и измерительных длинах волн Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} воспринимаются ФП. При этом на выходе приемника излучения ФП формируется фотоэлектрический сигнал (рис. 2, а).

Фотоэлектрический сигнал с выхода ФП усиливается малошумящим усилителем (МШУ) и дифференцируется на ДУ₁ (рис. 2, б) и подается на

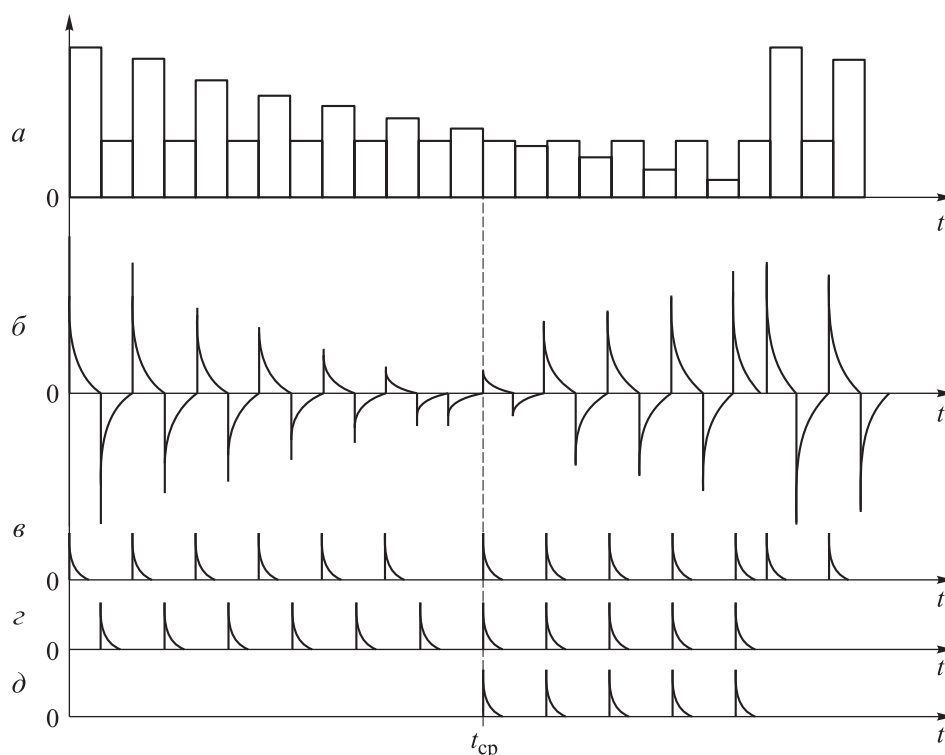


Рис. 2. Временные диаграммы работы оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля влажности растительного волокна (хлопка-сырца)

один из входов схемы совпадения (СС), а на другой вход СС подается короткий импульс (рис. 2, з) с выхода ДУ₂.

В результате, с момента сравнения t_{cp} до конца экспоненциального импульса формируются пачки импульсов, которые записывает счетчик (СЧ). По показаниям индикатора СЧ определяется влажность растительного волокна (хлопка-сырца).

В устройстве для дистанционного контроля влажности волокна, в качестве источников излучения использованы светодиоды LED19-PR, имеющие типичный максимум длины волны излучения 1,95 мкм ($I = 150$ мА, $f = 0,5$ кГц, $Q = 2$).

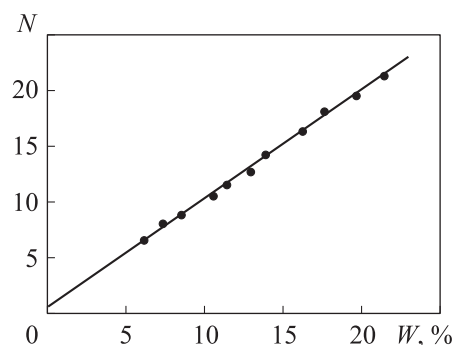
В таблице приведены результаты исследований влажности влагомером Wile Cotton ($W_{об}$, %) и разработанным устройством (W , %).

Результаты исследования влажности

$W_{об}$, %	W , %	$W_{об} - W$, %	$\delta(W)$	Δ
8,0	7,86	0,14	0,031	0,3
8,4	8,14	0,26	0,04	0,45
9,3	9,1	0,2	0,033	0,37
10,1	9,84	0,26	0,048	0,36
11,1	10,85	0,25	0,054	0,34
11,5	11,23	0,27	0,05	0,47
12,3	12,10	0,2	0,052	0,29
13,0	12,93	0,07	0,06	0,36
13,2	13,44	0,024	0,037	0,52

На рис. 3. приведена зависимость показаний дистанционного контроля влажности растительного волокна (хлопка-сырца) оптоэлектронным устройством и влагомером Wile Cotton.

Рис. 3. Зависимость влажности W волокна (хлопка) от числа импульсов N (● — оптоэлектронное устройство для дистанционного контроля влажности; сплошная линия — прибор Wile 55)



Выводы. Предложен оптоэлектронный двухволновой метод и устройство для дистанционного контроля влажности растительного волокна (хлопка-сырца).

Приведена блок-схема оптоэлектронного устройства для дистанционного контроля влажности волокна (хлопка).

В оптоэлектронном двухволновом методе растительное волокно (хлопок-сырец) облучается двумя противофазными прямоугольными последовательностями импульсных потоков излучения с длинами волн, лежащими в максимуме поглощения контролируемым компонентом (измерительной) и вне максимума поглощения этим компонентом (опорной), а масса влаги пропорциональна моменту сравнения опорных и измерительных потоков излучения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исмагуллаев П.Р., Шертайлаков Г.М., Кудратов Ж.Х., и др. Разработка автоматических влагомеров для продуктов агропромышленного комплекса. *Молодой ученый*, 2016, № 4, с. 44–46.
- [2] Искандаров П.И., Каландаров П.И. Анализ влияния факторов на результат измерений влажности материала на высоких частотах. *Измерительная техника*, 2013, №7, с. 64–66.
- [3] Машарипов Ш.М. Анализ современных методов и технических средств измерения влажности хлопковых материалов. *Приборы*, 2016, №4, с. 31–37.
- [4] Лисовский В.В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. Минск, БГАТУ. 2005.
- [5] Данилова Т.Н., Журганов Б.Е., Закгейм А.Л. и др. Мощные светодиоды, излучающие в области длин волн 1,9–2,1 мкм. *Физика и техника полупроводников*, 1999, т. 33, вып. 2, с. 239–242.
- [6] Yakovlev Yu.P., Baranov A.N., Imenkov A.N., et al. Optoelectronic LED-photodiode pairs for moisture and gas sensors in the spectral range 1.8–4.8 μm . *Proc. SPIE*, 1991, vol. 1510. DOI: 10.1117/12.47135
- [7] Baranov A.N., Imenkov A.N., Sherstnev V.V., et al. 2.7–3.9 μm InAsSb/InAsSb(P) low threshold diode lasers, *Appl. Phys. Lett.*, 1964, vol. 64, no. 19, art. 2480. DOI: 10.1063/1.111603
- [8] Яковлев Ю.П., Баранова А.Н., Именков А.Н. и др. Инжекционные лазеры на основе InAsSb/InAsSbP для спектроскопии высокого разрешения. *Квантовая электроника*, 1993, т. 20, № 9, с. 1–9.
- [9] Yakovlev Yu.P., Moiseev K.D., Mikhailova M.P., et al. Longwavelength ($\lambda = 3.26 \mu\text{m}$) with a single isolated GaInAsSb/p-InAs type II heterojunction in an active layer. *Tech. Phys. Lett.*, 1995, vol. 21, no. 12, pp. 482–484.

- [10] Popov A.A., Sherstnev V.V., Baranov A.N., et al. Continuous-wave operation of single mode GaInAsSb lasers emitting near 2.2 μm at Peltier temperatures. *Elect. Lett.*, 1998, vol. 34, no.14, pp. 198–1399. DOI: 10.1049/el:19980982
- [11] Brewer R., Mooradian A. Laser spectroscopy. Springer US, 1974.
- [12] Городничев В.А., Белов М.Л., Всякова Ю.И. и др. Оценка лидарных контрастов «нефтяное загрязнение — чистая водная поверхность» в УФ, видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах. *Радиооптика*, 2016, № 4, с. 14–24. DOI: 10.7463/rdopt.0416.0846191
- [13] Иванова С.Ю., Бершев Е.Н., Оптический метод контроля структурных характеристик ткани. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1990, № 5, с. 9–20.
- [14] Бражник А.М., Епифанов А.Д., Храпливый А.П. Математическое описание сканирования ткани в оптическом диапазоне. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 1985, № 5, с. 71–74.
- [15] Мухитдинов М.М., Кулдашев Г.О. Оптоэлектронное устройства для контроля температуры бунтов хлопка-сырца. *Химическая технология. Контроль и управление*, 2010, № 2, с. 30–35.

Кулдашов Оббозжон Хокимович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Телекоммуникация инжиниринг» Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (Ферганский филиал) (Республика Узбекистан, 150118, г. Фергана, ул. Мустакиллик, д. 185).

Кулдашов Голибжон Оббозович — аспирант Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (Ферганский филиал) (Республика Узбекистан, 150118, г. Фергана, ул. Мустакиллик, д. 185).

Мамасодикова Зулфия Юсупжоновна — аспирант Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий (Ферганский филиал) (Республика Узбекистан, 150118, г. Фергана, ул. Мустакиллик, д. 185).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Кулдашов О.Х., Кулдашов Г.О., Мамасодикова З.Ю. Оптоэлектронный двухволновой метод дистанционного контроля влажности растительного волокна. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2019, № 4, с. 84–96. DOI: 10.18698/0236-3933-2019-4-84-96

OPTOELECTRONIC DOUBLE-WAVE METHOD FOR REMOTE CONTROL OF VEGETABLE FIBER MOISTURE

O.Kh. Kuldashov

kuldashov.abbos@mail.ru

G.O. Kuldashov

golibjon1985@mail.ru

Z.Yu. Mamasodikova

mamasadikov52@bk.ru

Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana Branch (TUIT FF), Fergana, Republic of Uzbekistan

Abstract

The paper introduces an optoelectronic two-wave method for remote control of raw cotton moisture. To improve the quality of materials obtained from the fiber, it is necessary to properly organize its storage and comply with the optimal modes of processing technology at all stages of production. Proper storage and selection of technological processing depend on the quality indicators of the fiber, namely its moisture. The study shows that currently used methods and devices for the fiber moisture control do not meet the requirements of rapidity and the required measurement accuracy. We found it relevant to develop highly sensitive, accurate and reliable control devices for raw cotton moisture using new high-performance semiconductor radiation sources in the near infrared region. The paper presents a block diagram of an optoelectronic device for remote control of raw cotton moisture. The device uses LED19-PR with a typical maximum emission wavelength of 1.95 μm as radiation sources. The results of remote control of raw cotton moisture are given

Keywords

Optoelectronics, devices, moisture meters, moisture content of vegetable fiber, remote control, absorption, LEDs, photo detectors, IR range

Received 27.11.2018

© Author(s), 2019

REFERENCES

- [1] Ismatullaev P.R., Shertaylakov G.M., Kudratov Zh.Kh., et al. Development of automatic moisture meters for products of agro-industrial complex. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2016, no. 4, pp. 44–46 (in Russ.).
- [2] Iskandarov P.I., Kalandarov P.I. An analysis of the effect of interfering factors on the results of measurements of the moisture content of a material at high frequencies, *Meas. Tech.*, 2013, vol. 56, no. 7, pp. 827–830. DOI: 10.1007/s11018-013-0290-2
- [3] Masharipov Sh.M. Analysis of modern methods and technical means of measuring moisture content in cotton materials. *Pribory*, 2016, no. 4, pp. 31–37 (in Russ.).

- [4] Lisovskiy V.V. Teoriya i praktika sverkhvysokochastotnogo kontrolya vlazhnosti sel'skokhozyaystvennykh materialov [Theory and practice of super-high frequency control of moisture content in agricultural materials]. Minsk, BGATU Publ., 2005.
- [5] Danilova T.N., Zhurtanov B.E., Zakgeym A.L., et al. High-power light-emitting diodes operating in the 1.9 to 2.1 μm spectral range. *Semiconductors*, 1999, vol. 33, no. 2, pp. 206–209. DOI: 10.1134/1.1187671
- [6] Yakovlev Yu.P., Baranov A.N., Imenkov A.N., et al. Optoelectronic LED-photodiode pairs for moisture and gas sensors in the spectral range 1.8–4.8 μm . *Proc. SPIE*, 1991, vol. 1510. DOI: 10.1117/12.47135
- [7] Baranov A.N., Imenkov A.N., Sherstnev V.V., et al. 2.7–3.9 μm InAsSb(P)/InAsSbP low threshold diode lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, vol. 64, no. 19, art. 2480. DOI: 10.1063/1.111603
- [8] Yakovlev Yu.P., Baranova A.N., Imenkov A.N., et al. InAsSb/InAsSbP injection lasers for high-resolution spectroscopy. *Quantum Electron.*, 1993, vol. 23, no. 9, pp. 726–729. DOI: 10.1070/QE1993v023n09ABEH003156
- [9] Yakovlev Yu.P., Moiseev K.D., Mikhailova M.P., et al. Longwavelength ($\lambda = 3.26 \mu\text{m}$) with a single isolated GaInAsSb/p-InAs type II heterojunction in an active layer. *Tech. Phys. Lett.*, 1995, vol. 21, no. 12, pp. 482–484.
- [10] Popov A.A., Sherstnev V.V., Baranov A.N., et al. Continuous-wave operation of singlemode GaInAsSb lasers emitting near 2.2 μm at Peltier temperatures. *Elect. Lett.*, 1998, vol. 34, no. 14, pp. 1398–1399. DOI: 10.1049/el:19980982
- [11] Brewer R., Mooradian A. Laser spectroscopy. Springer US, 1974.
- [12] Gorodnichev V.A., Belov M.L., Vsyakova Yu.I., et al. Estimation of lidar contrast “oil pollution — clean water surface” in UV, visible, near and middle IR bands. *Radiooptika* [Radiooptics], 2016, no. 4, pp. 14–24 (in Russ.). DOI: 10.7463/rdopt.0416.0846191
- [13] Ivanova S.Yu., Bershev E.H. Optical method for monitoring structural characteristics of the fabric. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 1990, no. 5, pp. 9–20 (in Russ.).
- [14] Brazhnik A.M., Epifanov A.D., Khraplivyy A.P. Mathematical description of scanning fabric in the optical range. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 1985, no. 5, pp. 71–74 (in Russ.).
- [15] Mukhitdinov M.M., Kuldashov G.O. Optoelectronic devices for monitoring the temperature of raw cotton bundles. *Khimicheskaya tekhnologiya. Kontrol' i upravlenie*, 2010, no. 2, pp. 30–35 (in Russ.).

Kuldashov O.Kh. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Telecommunications Engineering, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana Branch (TUIT FF) (Mustakillik ul. 185, Fergana, 150118 Republic of Uzbekistan).

Kuldashov G.O. — Post-Graduate Student, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana Branch (TUIT FF) (Mustakillik ul. 185, Fergana, 150118 Republic of Uzbekistan).

Mamasodikova Z.Yu. — Post-Graduate Student, Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad al-Khwarizmi, Fergana Branch (TUIT FF) (Mustakillik ul. 185, Fergana, 150118 Republic of Uzbekistan).

Please cite this article in English as:

Kuldashov O.Kh., Kuldashov G.O., Mamasodikova Z.Yu. Optoelectronic double-wave method for remote control of vegetable fiber moisture. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2019, no. 4, pp. 84–96 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3933-2019-4-84-96

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
press@bmstu.ru www.baumanpress.ru

Подписано в печать 01.08.2019

Формат 70 × 108/16

Усл.-печ. л. 8,4

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1
baumanprint@gmail.com
