

УДК 681.586.5: 621.384.3

Инфракрасный датчик для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца

© 2019 г. **О. Х. Кулдашов, канд. техн. наук; Г. О. Кулдашов, аспирант;**
З. Ю. Мамасодикова, аспирант

Ташкентский университет информационных технологий, Ферганский филиал, Фергана, Республика Узбекистан

E-mail: kuldashov.abbos@mail.ru

Поступила в редакцию 06.02.2019

DOI:10.17586/1023-5086-2019-86-06-77-80

Предложен оптоэлектронный двухволновой метод для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца. Для разработки данного метода было проведено сравнение спектров поглощения влажного и сухого хлопка и на его основе определены оптимальные длины волн измерительного и опорного каналов. Приведены алгоритм работы и блок-схема реализующего этот метод инфракрасного датчика. Для опорного канала в нём использованы светодиоды с максимумом спектра излучения 2,2 мкм, а для измерительного канала — светодиоды с максимумом спектра излучения 1,94 мкм.

Ключевые слова: оптоэлектроника, спектры поглощения, влагомеры, влажность хлопка, дистанционный контроль, поглощение, светодиоды, фотоприёмники, инфракрасный диапазон.

Коды OCIS: 250.0250.

1. ВВЕДЕНИЕ

Дистанционный контроль влажности хлопка-сырца имеет большой практический интерес. На данный момент не существует портативного прибора для проведения экспресс-анализа влажности хлопка-сырца непосредственно на полях.

Для измерения влажности хлопка-сырца наибольшее распространение получили кондуктометрические, диэлькометрические и СВЧ-методы [1].

Однако эти способы делают возможным определение влажности уже убранного и подготовленного для переработки хлопка-сырца и не позволяют принять оптимальное решение о начале и сроках уборки урожая.

Начинать уборку хлопка-сырца необходимо при его влажности 8–14%, это необходимый диапазон измерений, а порог составляет 22%.

Настоящая работа посвящена разработке оптоэлектронного двухволнового метода для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца, основанного на различии коэффициентов поглощения инфракрасного (ИК) излучения сухих и влажных материалов. В качестве источников и приёмников излучения были выбраны свето- и фотодиоды, разработанные в Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (рис. 2) [2–5].

2. ВЫБОР ДЛИНЫ ВОЛНЫ АНАЛИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Вода, попадающая в вещество, меняет его спектр. Атомы кислорода, входящие в состав воды, совершают сложное движение, которое обусловлено синтезом трёх стандартных колебаний: абсолютно симметричных угловых, абсолютно симметричных упругих, асимметричных упругих. Полосы поглощения этих колебаний равны соответственно 2,74, 6,27 и 2,66 мкм. Показатели поглощения на этих длинах волн весьма велики, однако ввиду отсутствия высокостабильных малогабаритных источников и приёмников излучения эти длины волн при разработке промышленных приборов обычно не используются. С этой точки зрения наибольший интерес представляет более коротковолновый участок ближнего ИК диапазона спектра.

Сравнение на этом участке спектров поглощения сухого вещества хлопка (рис. 1, кривая 1) и влажного при влажности 9% (кривая 2) показывает, что на длине волны 1,85 мкм за счёт дополнительного поглощения водой эти спектры существенно различаются. Следовательно, если контролируемый объект облучать излучением светодиода со спектральной полосой, перекрывающей эту длину волны, и измерять мощность прошед-

шего или отражённого потока излучения, то измерительный поток излучения будет изменяться в зависимости от влажности.

Однако при измерениях только на одной длине волны возникают погрешности, основными источниками которых помимо влажности являются рассеяние излучения измеряемым веществом, его толщина и т. д. Для исключения этих погрешностей используется ещё один поток излучения с опорной длиной волны, лежащей вне полосы поглощения влагой.

В ИК датчике в качестве опорного сигнала применён светодиод с максимумом на длине волны 2,2 мкм LED2, а в качестве измерительного сигнала применяется светодиод LED1 с максимумом на длине волны 1,94 мкм (упомянутая выше полоса поглощения воды находится в полосе излучения этого светодиода). Для регистрации сигналов используется фотодиод PD24 с широким диапазоном чувствительности 1–2,4 мкм. На рис. 2 приведены основные спектральные характеристики светодиодов LED1, LED2 и фотодиода PD24 [5].

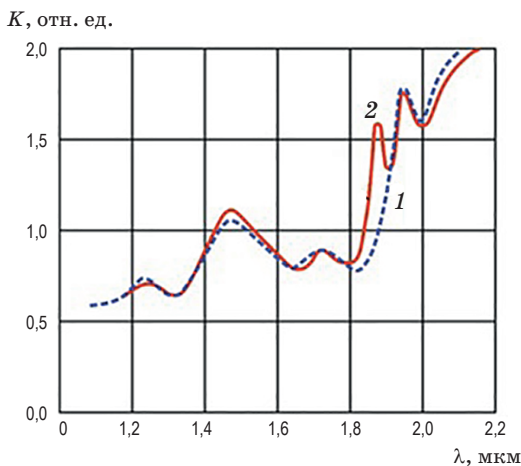


Рис. 1. Спектральные характеристики сухого (1) и влажного (2) хлопка [6].

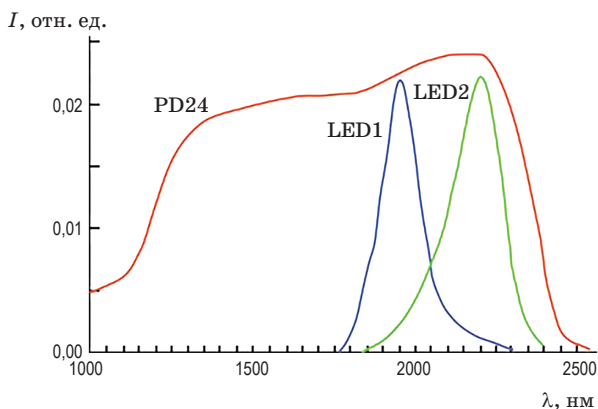


Рис. 2. Спектры излучения светодиодов LED1, LED2 и спектральная чувствительность фотодиода PD24.

3. ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ДВУХВОЛНОВОЙ МЕТОД ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ХЛОПКА-СЫРЦА

Разработан оптоэлектронный двухволновой метод и устройства для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца. Принцип двухволнового оптоэлектронного метода для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца заключается в следующем: контролируемый объект облучается двумя противофазными прямоугольными последовательностями импульсов с длинами волн, лежащих в максимуме поглощения контролируемым компонентом (измерительным) и не в максимуме поглощения этим компонентом (опорным).

При этом в случае использования коллимированных потоков излучения достигший поверхность хлопка поток излучения 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 соответственно. Отражённые от поверхности хлопка-сырца потоки излучения на опорных и измерительных длинах волн пройдут расстояние L и попадут на один и тот же приёмник излучения. Надо отметить, что из-за своеобразности структуры образования хлопка-сырца её отражающую поверхность можно считать диффузионной. Поэтому потоки, достигающие поверхность приёмника излучения, можно определить как

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

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

где γ_{λ_1} и γ_{λ_2} — коэффициенты отражения от поверхностного слоя хлопка на опорных и измерительных длинах волн соответственно, $I_{0\lambda_1}$ и $I_{0\lambda_2}$ — интенсивности отражённого потока излучения от поверхности хлопка на опорных и измерительных длинах волн соответственно, S_{pr} — площадь входного зрачка приёмника излучений, L — дистанция контроля, k_1 и k_2 — коэффициенты рассеяния объекта контроля на длинах волн λ_1 и λ_2 соответственно, m_1 — масса контролируемого объекта, m_2 — масса влаги.

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

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

$$\Phi_{0\lambda_1} = Ae^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (5)$$

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

Тогда с учётом вышеизложенного выражение (3) имеет вид

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

Приравнивая потоки Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} , получим

$$\begin{aligned} A\omega_{\lambda_1}\gamma_{\lambda_1} \frac{S_{pr}}{L^2} e^{-k_1 m_1} e^{-\frac{t_{CP}}{\tau}} = \\ = \omega_{\lambda_2}\gamma_{\lambda_2}I_{0\lambda_2} \frac{S_{pr}}{L^2} e^{-k_2 m_1} e^{-k_2 m_2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где t_{CP} — момент выравнивания потоков Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} .

Если длину волны опорного потока излучения выбрать достаточно близко к длине волны измерительного потока, то можно считать, что

$$\omega_{\lambda_1} = \omega_{\lambda_2}, \quad \gamma_{\lambda_1} = \gamma_{\lambda_2}, \quad k_1 = k_2.$$

Тогда при условии равенства опорного и измерительного начальных потоков излучения имеем

$$e^{-\frac{t_{CP}}{\tau}} = e^{-k_2 m_2} \quad (8)$$

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

Из последнего выражения видно, что масса влаги хлопка сырца пропорциональна моменту выравнивания t_{CP} , так как $1/(k_2 \tau)$ является постоянной величиной.

4. ИК ДАТЧИК ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ ХЛОПКА-СЫРЦА

Блок-схема ИК датчика для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца приведена на рис. 3.

Устройство работает следующим образом. Прямоугольные импульсы с выхода задающего генератора 1 воздействуют на счётный вход триггера 2. В результате этого на выходе последнего формируются симметричные прямоугольные импульсы. Сформированные импульсы с выхода триггера 2 поступают на вход второго дифференцирующего

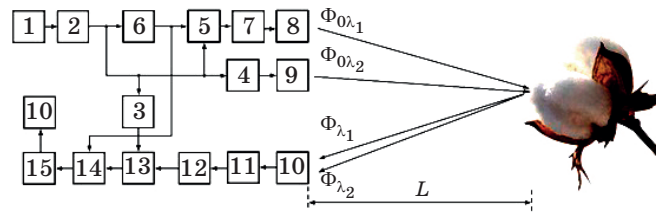


Рис. 3. Блок-схема ИК датчика для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца.

устройства 3, на вход импульсного усилителя 4 и на управляющий вход модулятора экспоненты 5, а через делитель частоты 6 на запускающий вход модулятора экспоненты 5.

С выхода модулятора экспоненты 5 промоделированные по экспоненциальному закону прямоугольные импульсы через эмиттерный повторитель 7 подаются на опорный излучающий диод 8.

Противофазные экспоненциальному импульсу прямоугольные импульсы с выхода импульсного усилителя 4 подаются на измерительный излучающий диод 9.

В результате опорный излучающий диод 8 излучает импульсные потоки излучения $\Phi_{0\lambda_1}$ на длине волны $\lambda_1 = 2,2$ мкм, в которых отсутствует составляющая поглощения воды.

Амплитуда данного потока излучения изменяется во времени по спадающему экспоненциальному закону. Измерительный излучающий диод 9 излучает импульсный поток излучения $\Phi_{0\lambda_2}$ на длине волны $\lambda_2 = 1,94$ мкм, в котором происходит максимум поглощения влаги. Амплитуда измерительного потока во времени постоянна.

Хлопок-сырец облучается двумя противофазными импульсными потоками излучения $\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$. При этом потоки излучения $\Phi_{0\lambda_1}$ и $\Phi_{0\lambda_2}$, пройдя расстояние L , доходят до поверхности хлопка-сырца и отражаются от него. Отражённые потоки от поверхности хлопка-сырца 17 на опорных и измерительных длинах волн Φ_{λ_1} и Φ_{λ_2} поступают на приёмник излучения 10. Фотоэлектрический сигнал с выхода фотоприёмника усиливается маломощным усилителем 11, дифференцируется на первом дифференцирующем устройстве 12 и подаётся на один из входов схемы совпадения 13, а на другой вход последнего подаётся короткий импульс с выхода второго дифференцирующего устройства 3. В результате этого с момента выравнивания t_{CP} до конца экспоненциального импульса формируются пачки импульсов, которые записываются на счётчике 14 и передаются к дешифратору 15. По показаниям индикатора 16 определяется влажность хлопка-сырца.

Характерными особенностями ИК датчика для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца является высокая избирательность, чувст-

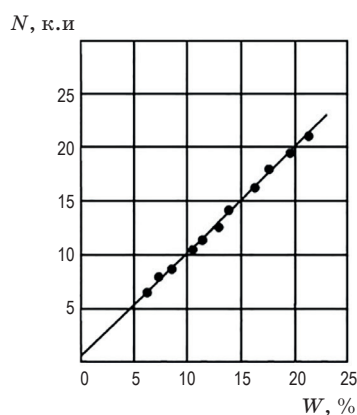


Рис. 4. Зависимость показаний ИК датчика и влагомера Wile Cotton. (● — показания ИК датчика, сплошная линия — показания влагомера Wile Cotton).

вительность, точность и воспроизводимость измерений, а также возможность непрерывного неразрушающего контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машаринов Ш.М. Анализ современных методов и технических средств измерения влажности хлопковых материалов // Приборы. 2016. № 4. С. 31–37.
2. Данилова Т.Н., Журтанов Б.Е., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. Светодиоды на основе твердых растворов GaSb для средней инфракрасной области спектра 1,6–4,4 мкм. (Обзор) // ФТП. 2005. Т. 39. Вып. 11. С. 1281–1311.
3. Стоянов Н.Д., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Именков А.Н., Яковлев Ю.П. Высокоэффективные светодиоды спектрального диапазона 1,6–2,4 мкм для медицинской диагностики и экологического мониторинга // ФТП. 2003. Т. 37. Вып. 8. С. 996–1009.
4. Андреев И.А., Куницына Е.В., Михайлова М.П., Яковлев Ю.П. Длинноволновые фотодиоды на основе твердых растворов $\text{Ga}(1-x)\text{In}x\text{AsySb}(1-y)$ с составом вблизи границы области несмешиваемости // ФТП. 1999. Т. 33. Вып. 2. С. 249–253.
5. Именков А.Н., Журтанов Б.Е., Астахова А.П., Калинина К.В., Михайлова М.П., Синовская М.А., Стоянов Н.Д. Фотодиоды для спектрального диапазона 1,1–2,4 мкм на основе двойной гетероструктуры $n\text{-GaSb}/n\text{-GaInAsSb}/p\text{-AlGaAsSb}$, выращенной с использованием редкоземельных элементов // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. Вып. 2. С. 6–35.
6. Мухитдинов М. Оптические методы и устройства контроля влажности. М.: Энергоатомиздат, 1986. 96 с.

На рис. 4 приведена зависимость показаний ИК датчика и влагомера Wile Cotton.

Абсолютная погрешность результатов измерения содержания влаги составляет меньше 2,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен оптоэлектронный двухволновый метод и устройство для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца.

Приведена блок-схема ИК датчика для дистанционного контроля влажности хлопка-сырца.

В оптоэлектронном двухволновом методе хлопок-сырец облучается двумя противофазными прямоугольными последовательностями импульсов с длинами волн, лежащих в максимуме поглощения контролируемым компонентом (измерительным) и не в максимуме поглощения этим компонентом (опорным), а масса влаги пропорциональна моменту выравнивания опорных и измерительных потоков излучения.