

УДК 681.2.084

https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/24

ОПТОЭЛЕКТРОННЫЙ ДАТЧИК ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

©*Матбабаев М. М.*, ORCID: 0000-0003-1314-8250, канд. техн. наук, Ферганский политехнический институт, г. Фергана, Узбекистан, *m.m.matbabaev@gmail.com*

THE OPTOELECTRONIC SENSOR RELATIVE HUMIDITY

©*Matbabayev M.*, ORCID: 0000-0003-1314-8250, Ph.D., Fergana Polytechnic Institute, Fergana, Uzbekistan, *m.m.matbabaev@gmail.com*

Аннотация. В данной работе рассмотрены основные характеристики атмосферного воздуха выбранного закрытого объекта, от которых в определенной степени зависит относительная влажность воздуха, а также лабораторная установка для изучения принципа построения оптоэлектронного датчика для измерения относительной влажности воздуха. Приведены описание и схема датчика влажности воздуха, структурная схема установки для постоянного мониторинга влажности воздуха в контролируемом объекте, устройство для калибровки датчиков влажности, а также алгоритм калибровки датчиков влажности.

Abstract. This paper discusses the main characteristics of atmospheric air, the selected closed object on which the relative humidity depends to a certain extent, as well as a laboratory installation for studying the principle of constructing an optoelectronic sensor for measuring relative humidity. A description and diagram of the air humidity sensor, a block diagram of the installation for continuous monitoring of air humidity in the controlled object, a device for calibrating humidity sensors, and an algorithm for calibrating humidity sensors are given.

Ключевые слова: относительная влажность воздуха, микроклимат, измерительная информация, аналоговая электроника, цифровая электроника, цифровые измерительные приборы, оптоэлектронные датчики влажности, эталонная величина, калибровка измерительных приборов.

Keyword: relative humidity, microclimate, measurement information, analog electronics, digital electronics, digital measuring devices, optoelectronic humidity sensors, reference value, calibration of measuring devices.

Введение

Данная работа посвящена разработке оптоэлектронной установки, оснащенной микроконтроллером для измерения и постоянного мониторинга, а также автоматизированного дистанционного управления относительной влажности воздуха выбранного закрытого объекта и разработке установки для калибровки оптоэлектронных датчиков влажности несколькими величинами образцов влажности воздуха.

Материал и результаты исследования

Как известно атмосферный воздух в основном состоит из механической смеси азота (~78%) и кислорода (~21%) с небольшой примесью аргона (~1%), углекислого газа (~0,3%) и ничтожного количества (~ 2×10^{-3} %) благородных газов и озона. Разумеется, состав воздуха

в городах, а тем более в различных закрытых производственных помещениях, может сильно отличаться от приведенного состава атмосферного воздуха. Тем не менее, в большинстве практических расчетах воздух считают идеальным газом с молекулярным весом 29 г/моль.

В зависимости от интенсивности процессов испарения и сублимации, в том числе в результате жизнедеятельности животных и растений, деятельности человека, воздух содержит то или иное количество водяного пара.

В настоящее время влажность воздуха принято характеризовать различными физическими величинами, из которых наиболее характерными являются: абсолютная влажность « α » /г/м³/ (плотность водяного пара); влагосодержание — весовое « d » /г/кг/ или объемное « X_{ppm} »; парциальное давление (упругость) водяного пара /мм. рт. ст./, температура точки росы « t » /°С/ и относительная влажность « φ » /%/ . /1/.

Такое разнообразие характеристик влажности воздуха говорит о том, что влажность является сложным параметром и в различных условиях измерения проявляются не одним и тем же образом. Характерно, что все эти понятия физически разнородны и их нельзя связывать между собой линейной зависимостью, как обычные физические параметры при переводе в другую систему измерения. Характеристика может быть консервативной по отношению к каким-либо параметрам воздуха или зависеть от них, может быть консервативной по отношению к замкнутым системам или наоборот /4,5/. Под открытой системой понимается система, содержащая влажный воздух в определенном объеме и сообщается с системой значительного большего объема; под замкнутой системой понимается изолированная система.

Абсолютную влажность воздуха « α » можно связать с другими физическими параметрами воздуха с помощью уравнения для идеального газа:

$$\alpha = K \frac{e}{RT} \quad (1)$$

где: K — коэффициент пропорциональности; R — универсальная постоянная водяного пара; T — температура воздуха, °К; e — упругость насыщенного пара.

В замкнутых системах изменение температуры вызывает соответствующее изменение давления в системе и упругости водяного пара, при этом плотность воздуха не изменяется, т. е. $\alpha = \text{Const}$, абсолютная влажность воздуха становится консервативной к температуре. Изменение давления в замкнутой системе при постоянной температуре вызывает изменение упругости водяного пара, а значит, и абсолютной влажности. В открытых системах давление определяется давлением окружающей среды. В этих условиях плотность водяного пара, как следует из уравнения (1), зависит от температуры и давления среды, т. е. абсолютная влажность не консервативна к этим параметрам. Упругость водяного пара « e » (или P_H), а следовательно и максимальная абсолютная влажность воздуха « α » нелинейно растут с температурой (Рисунок 1).

В связи с этим абсолютная влажность не может однозначно характеризовать влажность воздуха, т. е. необходима дополнительная информация о температуре и давлении среды. Поэтому эта величина применяется в основном для характеристики влажности газов в замкнутых системах и употребляются сравнительно редко (газовая промышленность).

Так как плотность водяного пара является параметром, который может быть непосредственно преобразован в соответствующий сигнал, то существуют приборы со шкалой, выраженной в значениях абсолютной влажности. В большинстве случаев для характеристики влажности воздуха применяется относительная влажность « φ » /%/ , так как действие влаги на материалы часто зависит от значения только этой величины.

Относительная влажность воздуха представляет собой отношение упругости водяного пара «e» к давлению насыщенных паров «E» при данной температуре, т. е.:

$$\varphi = \left(\frac{e}{E} * 100 \right) \% = \left(\frac{1}{K} * \frac{\alpha RT}{E} * 100 \right) \% , \quad (2)$$

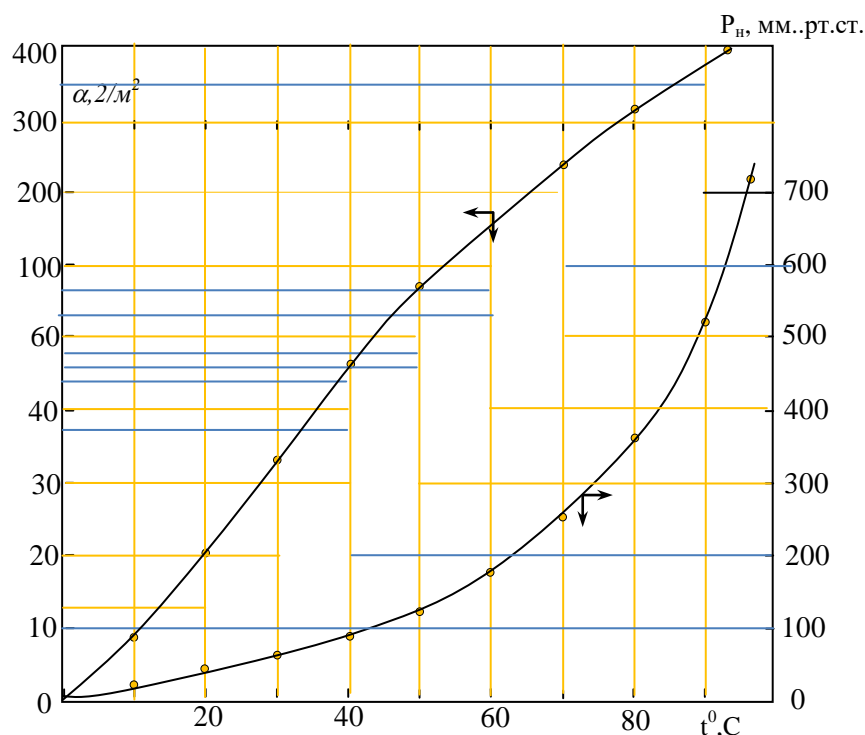


Рисунок 1. Зависимость упругости насыщенного пара P_n и абсолютной влажности « α » от температуры.

Относительная влажность, как следует из уравнения (2), не консервативна ни по отношению к температуре, ни по отношению к давлению в замкнутых и открытых системах.

Использование относительной влажности в расчетах вызывает некоторые сложности, так как это связано с использованием нелинейной функции $E=f(e)$. Существуют прямые методы измерения относительной влажности, так как относительная влажность влияет на свойства материалов (изменение размера, веса, плотности, электрических свойств и т. д.), поэтому значительное число приборов для измерения влажности воздуха имеет шкалу в значениях относительной влажности.

Контроль и измерение относительной влажности воздуха является важнейшим процессом в ряде отраслях и технологиях [1–3].

Для рабочих зон производственных помещений предприятий легкой промышленности СанПиН регламентирует температурно-влажностный режим, который должен соответствовать нормам, приведенным в №0058-96 «Санитарные нормы микроклимата производственных помещений». В теплый период года оптимальная температура воздуха на рабочих местах нормируется в пределах 22–24 °C (допускаются ее колебания на постоянных рабочих местах в пределах 21–29 °C, на непостоянных, в пределах 20–30 °C) при относительной влажности воздуха 40–60% и подвижности воздуха 0,4–0,7 м/сек. В холодный период года температура воздуха должна быть равна 17–19 °C (допускаются ее колебания на

постоянных рабочих местах от 15 до 21 °С и на не постоянных — от 13 до 23 °С) при относительной влажности воздуха 40–60% и подвижности воздуха не более 0,4 м/сек [1].

В частности, технологический процесс текстильной промышленности происходит (дискретным или непрерывном образом) в воздушной среде, состояние которой характеризуется температурой, относительной влажностью воздуха, запыленностью, химическим составом, подвижностью потока, количеством электрического заряда того или иного знака в единице объема и другими величинами [2]. Как известно под микроклиматом (в узком смысле) обычно понимают совокупность лишь двух переменных, т. е. температуры «t» и относительной влажности воздуха «φ».

Текстильный продукт, проходя технологическую цепочку, постоянно взаимодействует с микроклиматом $m = f(t, \varphi)$. Память об этом контакте имеющем чисто диффузионную природу, остается в виде влагосодержания продукта «d», которая и обуславливает, в конечном счете, стабильность и качество технологического процесса.

Необходимый микроклимат, обеспечиваемый требуемые параметры воздуха в этих объектах, обеспечивается системой автоматического контроля и регулирования термовлажностных параметров воздуха, в которой задатчиком относительной влажности воздуха являются различные датчики: оптоэлектронные, абсорбционные, емкостные и т. д. [4–5].

В помещениях с повышенной влажностью чувствительность абсорбционных датчиков быстро уменьшается в ходе непрерывного режима эксплуатации. Для восстановления нормальной работоспособности последних, необходимо периодически просушивать и калибровать их.

В отличие от абсорбционных, оптоэлектронные датчики относительной влажности воздуха не требуют таких технически сложных уходов. Во многих работах предложены различные типы оптоэлектронных датчиков относительной влажности воздуха, свободных от влияний внешних факторов в достаточной степени [2, 6–9].

Предложены различные схмотехнические решения для уменьшения влияния внешних факторов как загрязненность аппаратуры измерительных преобразователей, температура, электростатическое поле и т. д.

Данная работа посвящена одному из способов измерения относительной влажности воздуха и реализующему этот способ- оптоэлектронному датчику относительной влажности воздуха с уменьшенными влияниями внешних факторов.

Предлагаемая оптоэлектронная установка, оснащена микроконтроллером для измерения и постоянного мониторинга, а также автоматизированного дистанционного управления относительной влажности воздуха выбранного закрытого объекта (Рисунок 2).

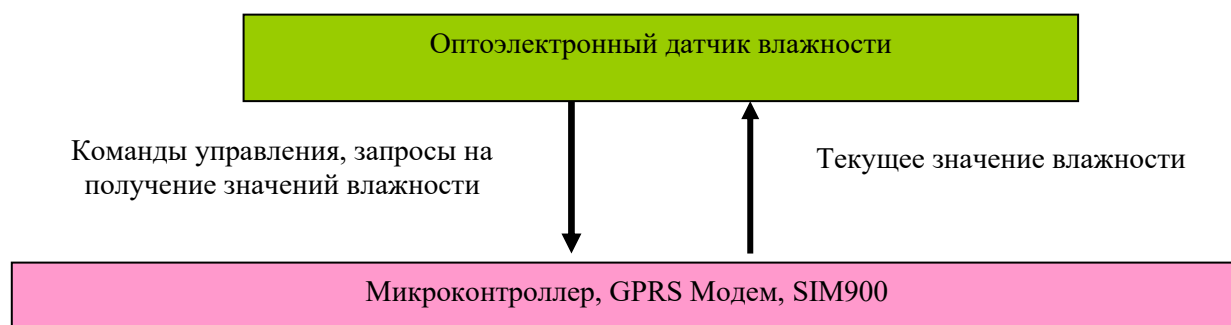


Рисунок 2. Структурно-функциональная схема передающего устройства для постоянного мониторинга.

Принцип действия оптоэлектронного датчика относительной влажности воздуха, построенного по интегральному методу на просвет, заключается в следующем.

Как известно, в основе интегральных методов измерения на просвет лежит уравнение Бугера–Ламберта–Бера, согласно которого, поток монохроматического излучения с длиной волны λ , прошедший через некоторый объект, на который направлен поток F_0 равен:

$$F_1 = F_0 \exp(-D_\lambda),$$

где: D_λ — оптическая плотность объекта.

В научной литературе имеется многочисленные варианты выделения полезной информации, реализованные с помощью оптоэлектронных первичных преобразователей. По алгоритму преобразования информации эти преобразователи разделяются на следующие типы:

1. Устройства измерения с логарифмическими усилителями, выполняющими функцию линейаризации;
2. Устройства измерения с функциональной разверткой в приемной части, при этом функцию линейаризации выполняет фотоприемник, питание которого осуществляется обратно пропорционально закону изменения потока излучения F_1 ;
3. Устройства измерения с функциональной разверткой в приемной части, при этом функцию линейаризации выполняет источник излучения, формирующий потоки излучения по соответствующему закону изменения оптической плотности в зависимости от измеряемого параметра исследуемого объекта.

В работе Н. Умаралиева «Оптоэлектронные первичные измерительные преобразователи линейной плотности шелка-сырца и нитей из натурального шелка» [3] достаточно подробно рассмотрены преимущества и недостатки этих принципов преобразования. С развитием микропроцессорной техники, стало возможным реализовать функцию преобразования программно, а также с развитием микроэлектронной техники мощность излучающих диодов возросла до нескольких ватт, чувствительность фотоприемников возросла в несколько порядков. В этих условиях необходимость линейаризации просто отпадает. Эта обстоятельство позволяет упростить первичный преобразователь, исключая все те элементы, кроме самого преобразователя измеряемой величины в напряжение. Это напряжение непосредственно подается на аналоговый вход микроконтроллера. Далее происходит цифровая обработка измерительной информации по соответствующему алгоритму в микроконтроллере. Обычно данный алгоритм строится на основе математического описания измеряемого параметра в связи с измеренным напряжением, т.е. сигналом на входе АЦП.

На Рисунке 3 приведена упрощенная схема первичного измерительного преобразователя. Датчик работает следующим образом: D1 получает от U1 импульс тока, и излучает свет. Свет проходя через КО ослабляется – кодируется информацией, содержащейся в КО. Кодированный оптический сигнал поступает на приемник D2, формируется электрический импульс, который тоже имеет информацию о КО — контролируемом влагосодержащем объекте. Далее электрический сигнал в виде напряжения импульса поступает на вход U2 — операционного усилителя, затем на аналоговый вход микроконтроллера. Далее, обработанный сигнал, т. е. выделенная информация о влажности контролируемого объекта передается в индикатор или в базу данных.

Для калибровки любого измерительного прибора, в том числе оптоэлектронных датчиков относительной влажности воздуха, необходимо множество эталонных величин или эталонные образцы с заранее известными измеряемыми величинами. В нашем случае, эталонным образцом являются образцы с известными концентрациями относительной влажности воздуха, величинами, покрывающими верхний и нижний пределы. На практике этот предел изменяется от 35% до 80% по объему.

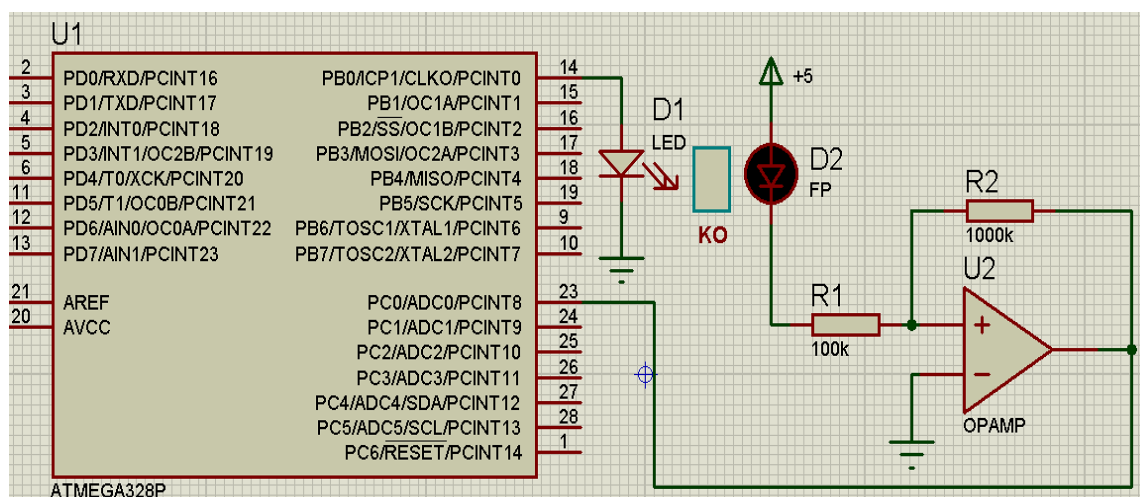


Рисунок 3. Упрощенная схема первичного измерительного преобразователя, где: U1 — микроконтроллер Atmega 328P, D1 — излучатель, D2 — приемник, КО — контролируемый влагосодержащий объект, R1–R2 – режимные резисторы, U2 — операционный усилитель.

В настоящее время во многих учебных заведениях по отдельным предметам предусмотрены лабораторные работы по созданию микроклимата и исследование средств автоматизации контроля и регулирования температуры и влажности воздуха. Для полноценного выполнения поставленных задач необходимо заранее известные величины относительной влажности воздуха. Однако, ни везде имеются дорогостоящие климатические камеры и высокоточные гигростаты, позволяющие создания необходимых эталонных величин относительной влажности воздуха. Поэтому невозможно проведение экспериментов по изучению датчиков влажности при различных значениях относительной влажности воздуха и калибровка датчиков влажности.

В связи с этим разработана установка для калибровки оптоэлектронных датчиков влажности несколькими величинами образцов влажности воздуха, схематическое изображение которой приведено на Рисунке 4.

Данная установка работает следующим образом:

Для обеспечения точности формирования эталонных величин концентрации, необходимо провести предварительную калибровку эталонных объемов в следующем порядке:

Заливается каждый объем отдельно до контрольной риски на стеклянной трубке эталонным количеством воды, масса которой предварительно измеряется прецизионным весовым устройством;

При не доливке эталонным количеством воды до контрольной риски, необходимо уменьшить калибруемый объем, завинчиванием калибровочных винтов.

Если заливаемый эталонный объем воды больше калибруемого, то необходимо увеличить калибруемый объем, вывинчиванием калибровочных винтов.

Таким образом, подготовленная установка, обеспечивает формирование эталонных объемов с достаточной точностью.

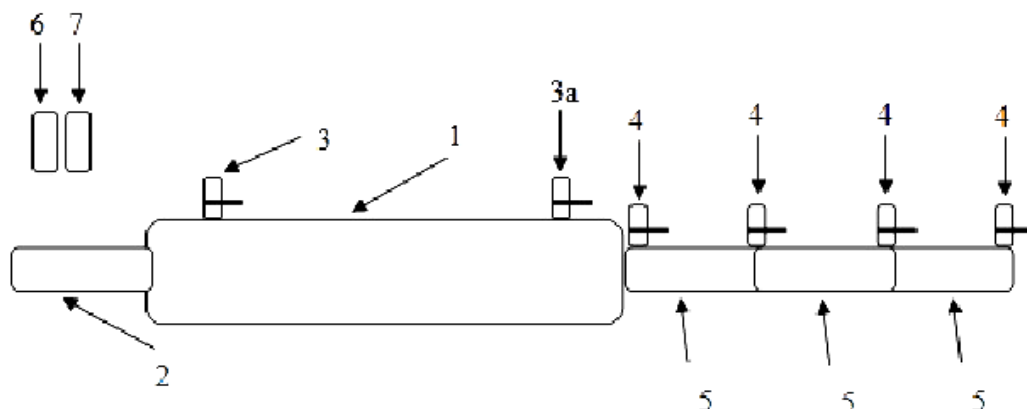


Рисунок 4. Установка для генерации различных величин относительной влажности воздуха. 1 — трубка, объем которой рассчитан на верхний предел относительной влажности воздуха; 2 — кварцевая трубка (кювета); 3 и 3а — трубки и вентили для заправки системы влажным воздухом; 4 — краники для подключения следующего объема; 5 — калиброванные объемы, заполненные сухим воздухом; 6 — датчик температуры; 7 — датчик влажности воздуха.

С помощью трубки с вентилем 3 в систему запускается нагретый водяной пар при открытом вентиле 3а, остальные вентили закрыты, затем закрывается вентиль 3а. Таким образом, в первом отсеке и в кювете из кварцевой трубки соединенной с ним имеем 100% относительную влажность воздуха. Проводим измерение и записываем первую точку калибровочной кривой посредством датчиков 6 и 7. Открывается вентиль 4 следующего отсека, заполненный воздухом. Происходит формирование новой концентрации влажности. Проводим измерение и записываем вторую точку калибровочной кривой. Открываем вентиль 4 следующего отсека, заполненный воздухом. Происходит формирование следующей концентрации влажности. Проводим измерение и записываем следующую точку калибровочной кривой. Таким образом, записываем показание калибруемого датчика соответствующее на всех имеющихся эталонных значениях измеряемого параметра – относительной влажности воздуха, тем самым формируем показание калибруемого датчика, соответствующего на каждую эталонную величину измеряемого параметра. В таком порядке формируется Таблица.

Таблица.

№	Эталонное значение влажности	Показание прибора
1.	H_{e1}	U_{e1}
2.	H_{e2}	U_{e2}
3.	H_{e3}	U_{e3}
...
n	H_{en}	U_{en}

Теперь используя метод наименьших квадратов, на основе вышеприведенных измерительных экспериментов, можно построить эмпирическую математическую модель предлагаемого измерительного прибора. В результате имеем математическую модель (калибровочная кривая) исследуемого датчика. Далее, чтобы получить значение влажности на выходе измерительного прибора, программно реализуем обработку сигнала датчика с помощью математической модели.

Заключение

Данная установка позволяет многократно получить эталонные величины влажности воздуха с достаточной точностью и воспроизводимостью, а также позволяет калибровать различные по природе датчики влажности и оценить их точность.

Список литературы:

1. Гигиенические требования для шелкоткацких предприятий. №0188-05. 06.10.2005.
2. Матбабаев М. М. Оптоэлектронный метод и устройство контроля влажности воздуха крутильных и ткацких производств: дисс. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1990. 198 с.
3. Умаралиев Н. Оптоэлектронные первичные измерительные преобразователи линейной плотности шелка-сырца и нитей из натурального шелка: дисс. ... канд. техн. наук. Ташкент, 1991. 178 с.
4. Берлинер М. А. Измерения влажности. М.: Энергия, 1973. 400 с.
5. Берлинер М. А. Электрические измерения, автоматический контроль и регулирование влажности. М.-Л.: Энергия, 1965. 488 с.
6. Мухитдинов М., Мусаев Э. С. Оптические методы и устройства контроля влажности. М.: Энергоатомиздат, 1986. 96 с.
7. Мухитдинов М. М., Бернштейн А. С., Перова Н. И. Фотоэлектрические многопараметровые методы измерения. Ташкент, 1979. 108 с.
8. Мухитдинов М., Мусаев Э. С., Рожков В. М. Применение функционального управления потоками излучения для измерения плотности и влажности объектов // Измерительная техника. 1981. №3. С. 66-67.
9. Мусаев Э. С. Оптоэлектронные методы и устройства контроля влажности с экспоненциальной разверткой // Оптические и радиоволновые методы и средства неразрушающего контроля качества материалов и изделий. Фергана, 1981. С. 95-102.

References:

1. (06.10.2005). Gigienicheskie trebovaniya dlya shelkotkatskikh predpriyatii. No. 0188-05. (in Russian).
2. Matbabaev, M. M. (1990). Optoelektronnyi metod i ustroistvo kontrolya vlazhnosti vozdukha krut'il'nykh i tkatskikh proizvodstv: Ph.D. diss. Tashkent, 198. (in Russian).
3. Umaraliev, N. (1991). Optoelektronnye pervichnye izmeritel'nye preobrazovateli lineinoi plotnosti shelka-syrtsa i nitey iz natural'nogo shelka: Ph.D. diss. Tashkent, 178. (in Russian).
4. Berliner, M. A. (1973). Izmereniya vlazhnosti. Moscow, Energiya, 400. (in Russian).
5. Berliner, M. A. (1965). Elektricheskie izmereniya, avtomaticheskii kontrol' i regulirovanie vlazhnosti. Moscow, Leningrad, 488. (in Russian).
6. Mukhitdinov, M., & Musaev, E. S. (1986). Opticheskie metody i ustroistva kontrolya vlazhnosti. Moscow, Energoatomizdat, 96. (in Russian).

7. Mukhitdinov, M. M., Bernshtein, A. S., & Perova, N. I. (1979). Fotoelektricheskie mnogoparametrovye metody izmereniya. Tashkent, 108. (in Russian).

8. Mukhitdinov, M., Musaev, E. S., & Rozhkov, V. M. (1981). Primenenie funktsional'nogo upravleniya potokami izlucheniya dlya izmereniya plotnosti i vlazhnosti ob'ektov. *Izmeritel'naya tekhnika*, (3), 66-67. (in Russian).

9. Musaev, E. S. (1981). Optoelektronnye metody i ustroystva kontrolya vlazhnosti s eksponentsial'noi razvertkoi. Opticheskie i radiovolnovye metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya kachestva materialov i izdelii. Fergana, 95-102. (in Russian).

*Работа поступила
в редакцию 02.09.2020 г.*

*Принята к публикации
10.09.2020 г.*

Ссылка для цитирования:

Матбабаев М. М. Оптоэлектронный датчик относительной влажности воздуха // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №10. С. 244-252. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/24>

Cite as (APA):

Matbabayev, M. (2020). The Optoelectronic Sensor Relative Humidity. *Bulletin of Science and Practice*, 6(10), 244-252. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/59/24>