

DOI 10.15826/urej.2024.8.1.005

УДК 543.275.3

## Оптоэлектронный цифровой измеритель запыленности в цехах джиннирования хлопка

О. Х. Кадиров<sup>1</sup>✉, Ю. Г. Шипулин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,  
100100, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шохжахон, 5

<sup>2</sup>Ташкентский государственный технический университет им. И. А. Каримова,  
100095, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Университетская, 2

✉ om\_kad@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены проблемы загрязнения окружающей среды и требования к приборам и системам измерения запыленности. Показано, что среди проблем защиты окружающей среды наиболее актуальной является охрана воздушного бассейна. Пыль относится к одному из самых распространенных видов промышленных отходов. На здоровье людей влияет не только вид пыли, размер частиц и минералогический состав, но и продолжительность ее воздействия. Поэтому от приборов и систем для контроля атмосферных загрязнений требуется высокая чувствительность. Проблема загрязнения окружающей среды может быть решена только с помощью автоматических, непрерывно действующих анализаторов. Целесообразно разрабатывать и внедрять портативные пороговые сигнализаторы, обладающие значительно меньшей стоимостью, чем стоимость автоматических средств контроля и измерения. В статье приводится описание принципа работы оптоэлектронного устройства контроля степени запыленности в помещениях джиннирования хлопка, которое позволяет одновременно измерять показатель ослабления (экстинкции) и рассеяния света одной и той же проходящей массы аэрозоля. Выполнен расчет удельных коэффициентов поглощения и рассеивания в цехах джиннирования хлопкоочистительных заводов. Приведены экспериментальные кривые отношения коэффициентов поглощения и ослабления в зависимости от пребывания аэрозоли в оптоэлектронном устройстве. Показаны способы снижения погрешности измерения.

**Ключевые слова:** защита окружающей среды, концентрация пыли, конструктивная схема, источники и приемники излучения, удельный коэффици-

ент ослабления, рэлеевские частицы, помещения джиннирования, диодный лазер, джиннирование хлопка

**Для цитирования:** Кадиров О. Х., Шипулин Ю. Г. Оптоэлектронный цифровой измеритель запыленности в цехах джиннирования хлопка. *Ural Radio Engineering Journal*. 2024;8(1):110–118. DOI: 10.15826/urej.2024.8.1.005.

## Optoelectronic Digital Dust Meter in Cotton Gining Manufactory

**O. Kh. Kadirov**<sup>1</sup>✉, **Yu. G. Shipulin**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent institute of textile and light industry, 5 Shohjahon Str., Tashkent, 100100, Uzbekistan

<sup>2</sup>Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, 2 University Str., Tashkent, 100095, Uzbekistan

✉ om\_kad@mail.ru

**Abstract.** The paper discusses the problems of environmental pollution and requirements for instruments and systems for measuring dust levels. It is demonstrated that among the problems of environmental protection, the most crucial one is the protection of the air basin. Dust is one of the most common types of industrial waste. Human health is affected not only by the type of dust, particle size and mineralogical composition, but also by the duration of exposure. Therefore, high sensitivity of instruments and systems for monitoring atmospheric pollution is required. The problem of environmental pollution can only be solved with the help of automatic, continuously operating analysers. It is advisable to develop and implement portable threshold alarms that have a significantly lower cost than the cost of automatic control and measurement equipment. The operating principle of an optoelectronic device for monitoring the degree of dust in cotton ginning rooms has been developed and presented, which allows simultaneous measurement of the attenuation (extinction) and light scattering of the same passing mass of aerosol. The calculation of specific absorption and dispersion coefficients in the ginning shops of cotton gin plants has been carried out. Experimental curves of the ratio of absorption and attenuation coefficients depending on the presence of the aerosol in the optoelectronic device are presented. Methods to reduce measurement error are revealed.

**Keywords:** environmental protection, dust concentration, constructive scheme, radiation sources and receivers, specific attenuation coefficient, Rayleigh particles, ginning rooms, diode laser, cotton ginning

**For citation:** Kadirov O. Kh., Shipulin Yu. G. Optoelectronic digital dust meter in cotton gining manufactory. *Ural Radio Engineering Journal*. 2024;8(1):110–118 (In Russ.) DOI: 10.15826/urej.2024.8.1.005

## Введение

Среди проблем защиты окружающей среды наиболее актуальной является охрана воздушного бассейна, так как загрязненный воздух ухудшает экологические условия, приводит к преждевременному износу основных фондов промышленности, объектов жилищно-коммунального хозяйства и т. д. [1, 2].

Значительный вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносят аэрозольные выбросы, выделяющиеся в процессе промышленного производства. Дисперсный состав частиц определяет характер рассеивания аэрозольных частиц в атмосфере, степень их негативного воздействия на здоровье человека. Также дисперсный состав аэрозольных выбросов влияет на размер платы за негативное воздействие на окружающую среду [3].

Пыль относится к одному из самых распространенных видов промышленных отходов. Она часто является причиной заболеваний органов дыхания. Из общего числа работающих на производстве почти половина находится в помещениях, в воздухе которых содержится инертная пыль, а другая половина — в среде, где возможно ее влияние. На здоровье людей влияет не только вид пыли, размер частиц и минералогический состав, но и продолжительность ее воздействия (экспозиция) [4].

В Республике Узбекистан установлены нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) для более 250 компонентов.

Величины ПДК для наиболее вредных веществ малы, поэтому от приборов и систем для контроля атмосферных загрязнений требуется высокая чувствительность. Кроме того, они должны обладать большой селективностью, так как токсичные компоненты определяются на фоне значительного количества мешающих примесей.

Для постоянного контроля состояния окружающей среды в помещениях джиннирования хлопка необходимо сделать большое число замеров, достигающее до нескольких миллионов анализов в год, поэтому проблема загрязнения окружающей среды может быть решена только с помощью автоматических, непрерывно действующих анализаторов и систем газового анализа [5].

Контроль аэрозольных потоков позволяет осуществлять обнаружение сверхнормативных выбросов последних. Обнаружение сверхнормативных

аэрозольных выбросов в реальном времени позволяет минимизировать, связанные с их поступлением в атмосферу загрязнения окружающей среды. Обнаружение сверхнормативных аэрозольных выбросов в реальном времени позволяет осуществлять оптоэлектронное устройство контроля степени запыленности.

Для автоматизации контроля окружающей среды целесообразно разрабатывать и внедрять портативные пороговые сигнализаторы, обладающие значительно меньшей стоимостью, чем стоимость автоматических средств контроля и измерения.

С целью определения загрязнения окружающей среды в производственных цехах хлопкоочистительных заводов авторы данной статьи разработали оптоэлектронное устройство контроля степени запыленности в помещениях джиннирования хлопка.

### Разработка оптоэлектронного измерителя запыленности

Со стороны объектов загрязнения требуется, чтобы приборы и системы измеряли запыленность с диапазоном 0–3 мг пыли в воздухе и фиксировали взвешенные частицы по размерным группам в диапазоне от 1 до 80 мкм.

На рис. 1. показана конструктивная схема оптоэлектронного устройства измерения и регистрации уровня запыленности в помещениях джиннирования хлопка, где 1 — корпус; 2, 6 — эталонный и измерительный фотоприемник соответственно; 3 — источник излучения; 4, 5 — линзы, формирующие параллельные и концентрирующие световые потоки; 7 — разъемы.

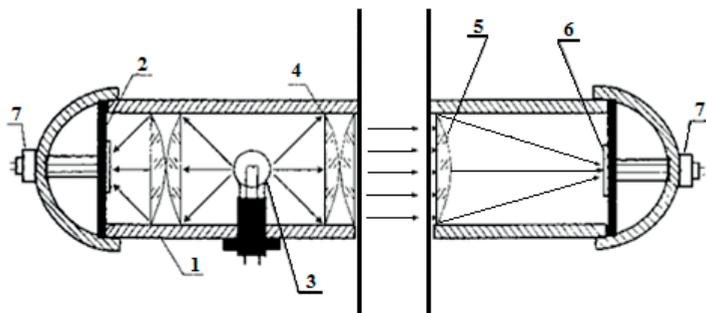


Рис. 1. Конструктивная схема оптоэлектронного устройства измерения уровня запыленности

Fig. 1. Constructive scheme of an optoelectronic device for measuring dust levels

На рис. 2 показана структурная схема цифрового измерителя запыленности. Измеритель состоит из двух основных блоков: измерительного устройства и блока индикации.

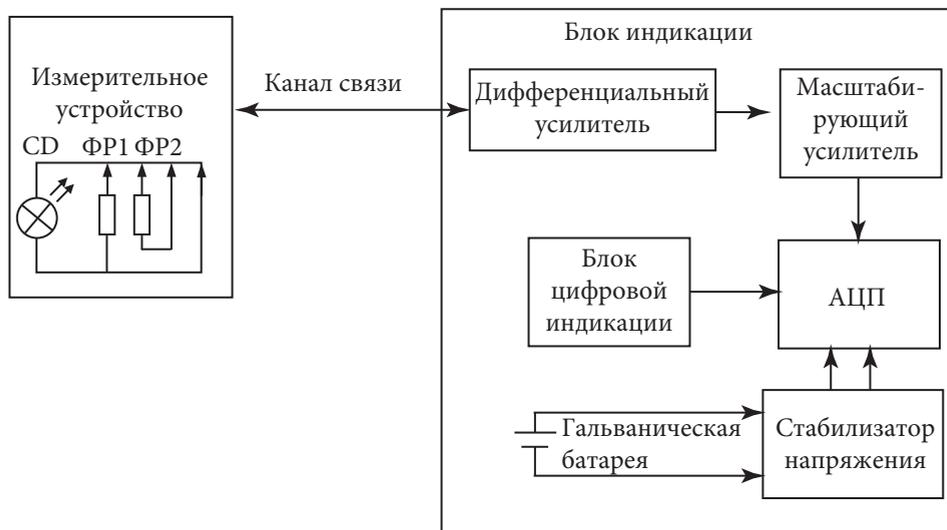


Рис. 2. Структурная схема цифрового измерителя запыленности

Fig. 2. Structural scheme of digital dust meter

Принцип работы цифрового измерителя запыленности следующий. Контролируемый поток воздуха проходит через измерительное устройство, в котором установлены источник излучения и два фоторезистора ФР1 и ФР2. Фоторезистор ФР1 воспринимает количество проходящего излучения (которое преобразуется в ток) и соответствует запыленности контролируемого воздуха. Фоторезистор ФР2 служит для термокомпенсации. Он устанавливается в одном корпусе с фоторезистором ФР1. ФР2 предназначен только для термокомпенсации и уравнивания мостовой измерительной схемы.

Токовые сигналы с фоторезисторов ФР1 и ФР2 по кабелям связи поступают в блок обработки на входы дифференциального усилителя, который осуществляет функцию дифференциации и преобразование «ток — напряжение». Далее сигнал напряжения поступает на вход масштабирующего усилителя, который усиливает напряжение до степени соответствия запыленности. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) преобразует аналоговый сигнал напряжения, соответствующий запыленности, в цифровой код, который затем визуализируется в цифровом десятичном виде в блоке цифровой индикации, т. е. мгновенное значение запыленности

контролируемого воздушного потока визуально отображается в десятичном виде на индикаторах блока индикации. Питание измерителя запыленности осуществляется от гальванической батареи 9В.

Разработанное авторами портативное микропроцессорное оптоэлектронное устройство позволяет одновременно измерять показатель ослабления (экстинкции) и рассеяния света одной и той же проходящей массы аэрозоля. Это дает возможность использовать устройство для прямого измерения коэффициента поглощения света аэрозольных частиц. Выполнен расчет удельных коэффициентов поглощения  $R_A$  и рассеивания  $R_S$  в цехах джиннирования хлопкоочистительных заводов Республики Узбекистан.

Значение удельного коэффициента ослабления  $R_e$  связано со значением коэффициента ослабления  $K_e$  входящим в формулу:

$$I = I_0 \exp(-K_e L) \quad (1)$$

соотношением

$$K_e = \int_{-\infty}^{\infty} R_e(D) m(D) d \log_{10} D, \quad (2)$$

где  $I_0$  и  $I$  — интенсивности излучения до и после прохождения через объем, содержащий аэрозоль;  $L$  — длина пути излучения в этом объеме;  $m(D)$  — массовая концентрация частиц аэрозоля;  $D$  — диаметр частиц аэрозоля.

При анализе характера измененных значений удельных коэффициентов  $R_A$  и  $R_S$  в зависимости от диаметра частиц  $D$  в расчетах использованы значения  $\lambda = 0,63$  мкм комплексного показателя преломления частиц  $n = 1,45 - 0,00133i$  и плотности частиц  $\rho = 1 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$ . Установлено, что для рэлеевских частиц, т. е. при  $D \ll \lambda$  значение  $R_A$  не зависит от диаметра и приблизительно равно  $\sim 0,025 \text{ м}^2 \cdot \text{г}^{-1}$ , а значение  $R_S$  значительно меньше и изменяется пропорционально  $D^3$ .

Вычисления показали, что значения  $R_A$  и  $R_S$  приблизительно равны друг другу при  $D = 0,004$  мкм.

Однако экспериментально подтверждено, что реальный аэрозоль в помещениях джиннирования хлопка представляет собой полидисперсную систему с логарифмическим распределением значений диаметров частиц.

$$n(D) = \frac{N}{\sigma(2\pi)^{\frac{1}{2}}} \exp \left[ -\frac{(\log_{10} D - \log_{10} D_1)^2}{2\sigma^2} \right], \quad (3)$$

где  $n(D)$  — число частиц, имеющих диаметр  $D$  в единице объема;  $D_1$  — среднее значение диаметра частиц;  $\sigma$  — среднеквадратическое отклонение  $\log_{10} D$ .

Как показывает характер изменения аналитических значений, отношение коэффициентов поглощения и ослабления  $K_A/K_e$  для монодисперсного аэрозоля при  $\sigma = 0$  зависит от среднего значения диаметра ( $\sigma = 0,174$  мкм) частиц в помещениях джиннирования хлопка.

### Результаты эксперимента

Проба запыленности в помещениях джиннирования проводилась на различных уровнях агрегатов. В качестве источника излучения использовались лампочка накаливания НМ-0,63 и диодный лазер ИЛПН — 101, а в качестве приемника излучения — фоторезистор ФСК-6 и фотодиод ФД-24К. Частота прерывания источника излучения до 500 Гц.

Результаты измерения отношения  $K_A/K_e$  (%) в зависимости от длительности измерения представлены на рис. 3, где кривые 1 и 3 соответствуют пробам в трубопроводе отходящего волокна после джиннирования, а кривые 2 и 4 — пробам в трубопроводе поступающего в агрегат джиннирования.

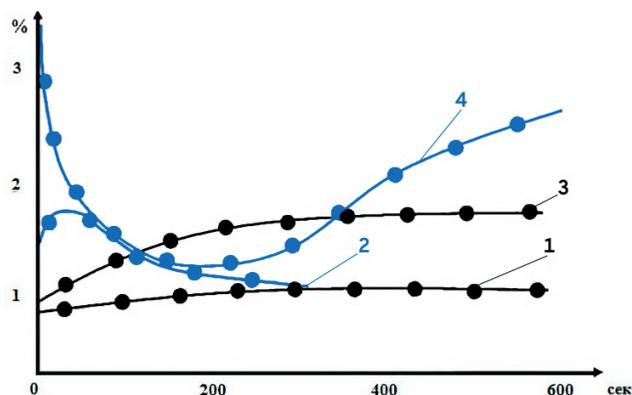


Рис. 3. Экспериментальные кривые отношения  $K_A/K_e$  в зависимости от пребывания аэрозоля в оптоэлектронном устройстве

Fig. 3. Experimental curves of the  $K_A/K_e$  ratio depending from the presence of an aerosol in an optoelectronic device

### Обсуждение результатов

Значения отношения  $K_A/K_e \cong 1\%$ . Более высокие значения отношения  $K_A/K_e$  при поступлении хлопка сырца в агрегат джиннирования можно объяснить более высокой начальной концентрацией мелких частиц в пробе и последующим уменьшением числа мелких частиц вследствие коагуляции.

Погрешность измерения около 2% обусловлена в основном погрешностью определения интенсивности  $I$  излучения, которая достаточно велика из-за небольшой длины пути излучения в предложенном оптоэлектронном устройстве.

### Заключение

В данной работе представлены результаты разработки оптоэлектронного устройства контроля степени запыленности в помещениях джиннирования хлопка. Разработана конструкция оптоэлектронного устройства измерения уровня запыленности. Данное устройство позволяет одновременно измерять показатель ослабления и рассеяния света одной и той же проходящей массы аэрозоли через измерительную трубку. Описан принцип работы цифрового измерителя запыленности. Выполнены расчеты удельных коэффициентов поглощения  $R_A$  и рассеивания  $R_s$ . Проведены экспериментальные исследования отношения коэффициентов поглощения и ослабления в зависимости от пребывания аэрозоли в оптоэлектронном устройстве. Показаны способы снижения погрешности измерения. Внедрение описанного устройства на хлопкоочистительных предприятиях позволяет решить проблему охраны здоровья людей в цехах джиннирования хлопка.

### Список литературы

1. Шамечек Я., Штохл В. *Волокнистая пыль в воздухе производственных помещений*. М.: Стройиздат; 2000. 184 с.
2. Алиев Г. М. *Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов*. Справочник. М.: Металлургия; 1986. 544 с.
3. Привалов В. Е. *Лазеры и экологический мониторинг атмосферы*. СПб.: Лань, 2012. 288 с.
4. Самохвалов И. В. *Атмосферная электрооптика*. Томск: НТЛ; 2010. 220 с.
5. Салимов А. М., Лугачев А. Е., Ходжиев М. Т. *Технология первичной обработки хлопка*. Ташкент: Адабиёт учкунлари; 2018. 148 с.

## References

1. Shamechek Y., Shtoxl V. *Voloknistaya pyl' v vozdukhke proizvodstvennykh pomeshchenii* [Fibrous dust in the air of industrial premises]. Moscow: Stroyizdat; 2000. 184 p. (In Russ.)
2. Aliyev G. M. *Tekhnika pyleulavlivaniya i ochistki promyshlennykh gazov* [Techniques for dust collection and purification of industrial gases]. Moscow: Metallurgiya; 1986. 544 p. (In Russ.)
3. Privalov V. Ye. *Lazery i ekologicheskii monitoring atmosfery* [Lasers and environmental monitoring of the atmosphere]. Saint Petersburg: Lan'; 2012. 288 p. (In Russ.)
4. Samoxvalov I. V. *Atmosfernaya elektrooptika* [Atmospheric electro-optics]. Tomsk: NTL; 2010. 220 p. (In Russ.)
5. Salimov A. M., Lugachev A. YE., Xodjiyev M. T. *Tekhnologiya pervichnoi obrabotki khlopka* [Cotton primary processing technology]. Tashkent: Adabiyot uchkunlari; 2018. 148 p. (In Russ.)

## Сведения об авторах

**Кадиров Оман Хамидович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматизации и управления технологических процессов и производств Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, Узбекистан.

**Шипулин Юрий Геннадиевич**, доктор технических наук, профессор кафедры систем обработки информации и управления Ташкентского государственного технического университета им. И. А. Каримова, Узбекистан.

## Information about the authors:

**Oman Kh. Kadirov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation and Control of Technological Processes and Production, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan.

**Yuri G. Shipulin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Processing and Control Systems, Tashkent State Technical University named after I. A. Karimov, Tashkent, Uzbekistan.

Поступила / Received: 10.12.2023

Принята в печать / Accepted: 20.02.2024