

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ  
ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**СОЛОМИЧЕВ РОМАН ИГОРЕВИЧ**

УДК 535.341: 622.23.05: 535.345

**МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-  
ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ПЫЛИ ДЛЯ АЭРОГАЗОВОЙ ЗАЩИТЫ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальность 05.13.05 – «Компьютерные системы и компоненты»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание научной степени  
кандидата технических наук

Красноармейск–2014

Диссертацией является рукопись.

Работа выполнена на кафедре «Электронная техника» Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки Украины

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор,  
Заслуженный деятель науки и техники Украины  
**Зори Анатолий Анатольевич**  
заведующий кафедрой «Электронная техника»  
Государственного высшего учебного заведения  
«Донецкий национальный технический университет», МОН Украины

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор  
**Кондрашов Сергей Иванович**  
заведующий кафедрой «Информационно-  
измерительные технологии и системы» Национального  
технического университета Украины  
«Харьковский политехнический институт»  
МОН Украины

доктор технических наук, профессор  
**Данилов Владимир Васильевич**  
заведующий кафедрой «Радиофизика» Донецкого  
национального университета МОН Украины

Защита состоится «20» ноября 2014 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 11.052.03 Донецкого национального технического университета по адресу: 85300, г. Красноармейск, пл. Шибанкова, 2, корп. 1, ауд. 1.211.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого национального технического университета по адресу: 85300, г. Красноармейск, пл. Шибанкова, 2.

Автореферат разослан «17» октября 2014 г.

Ученый секретарь специализированного  
ученого совета Д 11.052.03,  
кандидат технических наук, доцент

**Г.В. Мокрый**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В результате интенсификации технологического процесса добычи угля во время очистных и подготовительных работ в горных выработках наблюдается резкий рост пылеобразования и газоносности шахт, что способствует повышению опасности взрывов. Комплексное оснащение угледобывчных предприятий новой системой аэрогазовой защиты УТАС (унифицированная телекоммуникационная система диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами) не дает достаточной безопасности условий труда рабочих, так как существующими аспирационными пробоотборниками невозможно в автоматическом режиме с достаточной скоростью вести непрерывный контроль концентрации и дисперсности взвешенной угольной пыли. Отсутствие отечественных автоматических быстродействующих и высокоточных измерителей концентрации угольной пыли сужает и ограничивает функции достоверного диспетчерского контроля УТАС за пылегазовой обстановкой рудничной атмосферы выработок при выполнении горных работ. Кроме того, дефицит оперативных данных по концентрации и дисперсности угольной пыли не позволяет определить достоверные вероятностные характеристики взрывчатости угольной пыли в смеси с метаном при изменении влажности и скорости воздушного потока, что увеличивает риск возникновения взрывоопасной ситуации в угольной шахте.

На кафедре электронной техники ГВУЗ «ДонНТУ» в контакте с ведущими производителями систем аэрогазового контроля и шахтной автоматики создана лаборатория по исследованию и разработке систем комплексного измерительного контроля параметров рудничной атмосферы угольных шахт, а также методов обработки данных, которые являются базовыми для создания микропроцессорных информационно-измерительных систем (ИИС) контроля концентрации метана и угольной пыли, адаптированных в УТАС. Следовательно, разработка методов, средств и методик, направленных на повышение быстродействия и точности измерителей концентрации угольной пыли путем контроля концентрации и дисперсности угольной пыли с учетом внешних дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы, определяют актуальность диссертационной работы.

**Связь работы с научными программами, планами, темами.** Диссертационная работа выполнена в рамках госбюджетных тем Государственного высшего учебного заведения «Донецкий национальный технический университет» Д-3-13 «Разработка методов и средств оперативного контроля запыленности рудничной атмосферы для системы аэрогазовой защиты угольных шахт» (№ государственной регистрации 0112U005894), Д-05-11 «Разработка методов и средств повышения метрологической надежности газоаналитических измерителей в условиях повышенной взрывоопасности промышленных предприятий» (№ государственной регистрации 0111U004016) и работы по договору № 752 (10-294) «Разработка измерителя с применением инфракрасного оптико-

абсорбционного метода контроля концентрации метана в рудничной атмосфере угольных шахт» совместно с Частной компанией «Дейта экспресс».

**Цель и задачи исследования.** Усовершенствование измерителей концентрации угольной пыли путем повышения быстродействия и точности измерительного контроля в системе аэрогазовой защиты шахт за счет микропроцессорной системы оценивания дисперсного состава угольной пыли с учетом и компенсацией внешних дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы.

Для достижения поставленной цели в работе сформулированы и решены **следующие задачи:**

- анализ параметров и характеристик пылегазовой смеси рудничной атмосферы угольных шахт для определения концентрационных пределов взрывчатости угольной пыли с метаном;

- анализ существующих методов и средств контроля концентрации и дисперсности пыли атмосферы угольных шахт с целью повышения их быстродействия и точности;

- разработка и исследование математической модели измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли на основе оптико-абсорбционного метода с учетом влияния дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы;

- разработка методов и средств компенсации основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы на результаты измерения концентрации и дисперсности взвешенной угольной пыли;

- разработка структуры микропроцессорной ИИС контроля концентрации и дисперсности пыли в угольных шахтах и алгоритма ее функционирования;

- разработка макетного образца измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли, методики проведения его исследований для проверки метрологических характеристик и адекватности разработанных математических моделей.

*Объект исследования:* информационно-измерительная система контроля концентрации угольной пыли рудничной атмосферы.

*Предмет исследования:* методы, алгоритмы и средства повышения быстродействия и точности измерения концентрации угольной пыли в рудничной атмосфере.

*Методы исследования* базируются на положениях теории информационно-измерительных систем, теории вероятностей и математической статистики, теории случайных процессов, теории планирования научного эксперимента, компьютерного моделирования, а также экспериментальных методах исследования макетного образца микропроцессорного измерителя концентрации пыли.

**Основные научные положения.** На основании теоретических исследований и проведенных экспериментов по запыленности рудничной атмосферы шахты установлен спектральный состав зондирующего излучения, который наиболее чувствителен к определению концентрации и дисперсности угольной пыли, а также других параметров, связанных с различными составляющими по классификации пыли, что послужило основой для разработки высокочувствительного измерителя концентрации пыли в режиме реального времени.

### **Научная новизна полученных результатов.**

1. Получил дальнейшее развитие оптико-абсорбционный метод контроля концентрации взвешенной угольной пыли в рудничной атмосфере на основе использования открытого оптического измерительного канала, что позволило повысить быстродействие и точность измерителя в режиме реального времени.

2. Предложена математическая модель двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации угольной пыли, положенная в основу разработки макетного образца повышенной точности и быстродействия, за счет оценки дисперсного состава пыли со следующими показателями: основная абсолютная погрешность измерения концентрации пыли в диапазоне от 0 до 3 г/м<sup>3</sup> составляет не более 14 мг/м<sup>3</sup>, что примерно в 20 раз меньше погрешности существующих измерителей концентрации пыли в данном диапазоне.

3. Усовершенствован двухлучевой способ измерения концентрации и дисперсности угольной пыли путем компенсации дополнительной составляющей погрешности от температурной нестабильности оптико-электронных компонент измерителя в температурном диапазоне от +5 до +35 °С (для первого канала с  $\lambda_1 = 0,47$  мкм – в 4,3 раза, для второго канала с  $\lambda_2 = 0,624$  мкм – в 7,8 раза) за счет введения дополнительного закрытого оптического канала.

4. Разработан и исследован быстродействующий двухлучевой оптико-абсорбционный измеритель с аппаратной компенсацией влияния температуры, в котором два открытых оптических измерительных канала с различными длинами волн излучения объединены в один, за счет использования полупрозрачного зеркала и разделения во времени их работы, что позволило уменьшить количество оптических узлов, общее их загрязнение и повысить метрологическую надежность измерителя.

5. Сформулированы базисные функции аппаратной части и требования к программному обеспечению измерительного модуля, выполнен структурно-алгоритмический синтез микропроцессорной ИИС контроля концентрации угольной пыли для системы аэрогазовой защиты угольных шахт и реализована аппаратно-программная часть микропроцессорного модуля.

6. Предложен модуль прогнозирования рисков возникновения взрывоопасной ситуации в угольной шахте по предыстории динамики изменения контролируемых параметров рудничной атмосферы, что значительно повышает безопасность выполнения горных работ.

### **Практическое значение полученных результатов.**

1. Разработан макетный образец быстродействующего микропроцессорного измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли с аппаратно-программной компенсацией влияния температуры и запыленности оптических узлов измерителя, а также программное обеспечение для обработки экспериментальных данных в режиме реального времени.

2. Разработан лабораторный стенд термостатированной пылевой камеры для получения градуировочной характеристики макетного образца двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации пыли и исследования его метрологических характеристик. В качестве контрольного измерителя исполь-

зован сертифицированный аспирационный прибор ПКА-01 (приведенная погрешность измерения концентрации пыли в диапазоне от 0 до 5 г/м<sup>3</sup> – 20%).

3. Предложена конструкция измерителя, включающая пылезащитные насадки – бленды с конусными кольцами для повышения степени защищенности оптических узлов от запыленности. Разработан алгоритм программы автоматической коррекции погрешности измерения концентрации угольной пыли от влияния запыленности смотровых стекол.

4. Разработана методика проведения лабораторных испытаний макетного образца быстродействующего микропроцессорного измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли для оценки его чувствительности и метрологических характеристик.

5. Проведенные исследования в диссертационной работе использованы в опытно-конструкторской работе кафедры «Электронная техника» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» совместно с Частной компанией «Дейта Экспресс» по хоздоговору № 752 (10–294) «Разработка измерителя с применением инфракрасного оптико-абсорбционного метода контроля концентрации метана в рудничной атмосфере угольных шахт». Результаты научных и практических исследований диссертационной работы внедрены при разработке опытного образца измерителя концентрации угольной пыли для системы аэрогазовой защиты угольных шахт УТАС Государственным предприятием «Петровский завод угольного машиностроения», а также используются в учебном процессе кафедры электронной техники ГВУЗ «ДонНТУ».

**Личный вклад соискателя.** Основные положения и результаты диссертационной работы получены автором самостоятельно. Автором лично разработаны: математические модели измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли, усовершенствован аппаратный способ компенсации влияния температуры на результаты измерений, алгоритмический метод компенсации запыления оптических узлов измерителя, методика оценки чувствительности и метрологических характеристик макетного образца оптико-абсорбционного измерителя концентрации пыли.

**Апробация результатов работы.** Основные разделы работы прошли апробацию на следующих научно-технических и научно-практических конференциях: Научно-техническая конференция молодых ученых «Young scientists' researches and achievements in science» (Донецк, 19 апреля 2012 г.); Первый региональный научно-практический семинар «Теоретические и практические аспекты приборостроения» (Луганск, 27 апреля 2012 г.); Первая всеукраинская научно-техническая конференция студентов и аспирантов «Современные тенденции развития приборостроения» (Луганск, 19 ноября 2012 г.); XII Международная научно-техническая конференция «Приборостроение: состояние и перспективы» (Киев, 23 апреля 2013); XIII Международная научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых» (Донецк, 15 мая 2013); Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении (КомТех-2013)»

(Таганрог, 5 июня 2013 г.); Вторая Международная научная конференция «Измерение, контроль и диагностика в технических системах (ВКДТС-2013)» (Винница, 29 октября 2013 г.); XIV Международная научно-техническая конференция аспирантов и студентов «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых» (Донецк, 22 апреля 2014 г.).

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 5 печатных работ в специализированных изданиях МОН Украины, 1 печатная работа в специализированном издании России, включенная в системы РИНЦ и Ulrich's Periodicals Directory, 7 тезисов докладов на научно-технических конференциях.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация содержит введение, пять разделов основной части, выводы, список используемых источников, приложения. Диссертационная работа представлена на 154 страницах основного текста, содержит рисунков – 54, таблиц – 5, библиографических источников – 115, приложений – 6 на 78 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первом разделе** «Анализ и состояние измерительных систем контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт» выполнен анализ существующих методов и средств контроля концентрации пыли в рудничной атмосфере шахт. Установлено, что в настоящее время контроль концентрации взвешенной пыли на угольных шахтах Украины ведется нерегулярно или совсем отсутствует, так как не существует соответствующих средств, которые способны проводить измерения в реальном времени при непрерывном воздействии комплекса дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы.

Существующие сертифицированные аспирационные пылемеры эпизодического действия имеют быстродействие более 3 минут, и поэтому не могут быть использованы в системе диспетчеризации для оперативного автоматического контроля пылегазового состава рудничной атмосферы с целью оценки риска возникновения взрывоопасных ситуаций в шахте.

Основываясь на современных требованиях к измерителям концентрации пыли, условиям их использования и результатах проведенного анализа методов и средств, избран оптико-абсорбционный метод контроля, что позволяет в режиме реального времени повысить точность измерений за счет компенсации внешних дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы. При использовании предложенного метода можно достичь скорости измерительного контроля запыленности менее 0,5 секунды, что не хуже быстродействия измерителей концентрации метана по требованиям ГОСТ (0,8 с).

На основе полученного комплекса информационных параметров (концентрация метана, концентрация и дисперсность угольной пыли, влажность и температура атмосферы) появилась возможность решения задач оценки нижнего порога взрывчатости (НПВ) угольной пыли, установления вероятности взрыва в режиме реального времени и прогнозирования взрывов. Для разработки научных основ построения микропроцессорной ИИС контроля концентрации пыли

в шахтной атмосфере сформулированы цель и задачи теоретических и экспериментальных исследований, предусматривающие определение спектральных характеристик пропускания пылегазовой среды, выбор источника излучения для реализации оптико-абсорбционного метода контроля, наиболее чувствительного к измерению концентрации (от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>) и дисперсности угольной пыли.

**Во втором разделе** «Разработка и исследование физико-математической модели измерителя концентрации угольной пыли» создана математическая модель измерительной системы на основе оптико-абсорбционного метода контроля концентрации пыли, которая учитывает влияние основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы – температуры ( $T$ ) и дисперсности частиц угольной пыли (от  $D_{min}$  до  $D_{max}$ ) на параметры оптоэлектронного измерителя, что позволило оценить его метрологические характеристики для реальных условий эксплуатации.

Разработана схема формирования информационного сигнала в канале измерения концентрации пыли  $C_{\Pi}$  (см. рис. 1), который состоит из оптоэлектронного и аналогового блоков. В состав оптоэлектронного блока входят: источник светового излучения (ИИ), открытый оптический канал (ООК) с длиной трассы  $l$ , оснащенный системой коллиматоров с линзами  $L_1$  и  $L_2$ , и фотоприемник (ФП). Аналоговый блок состоит из предварительного преобразователя (ПП), преобразующего пропорционально измеряемой величине ток ФП в напряжение, масштабируемое в нормирующем усилителе (НУ) к унифицированному виду для дальнейшего преобразования и обработки в цифровом формате.

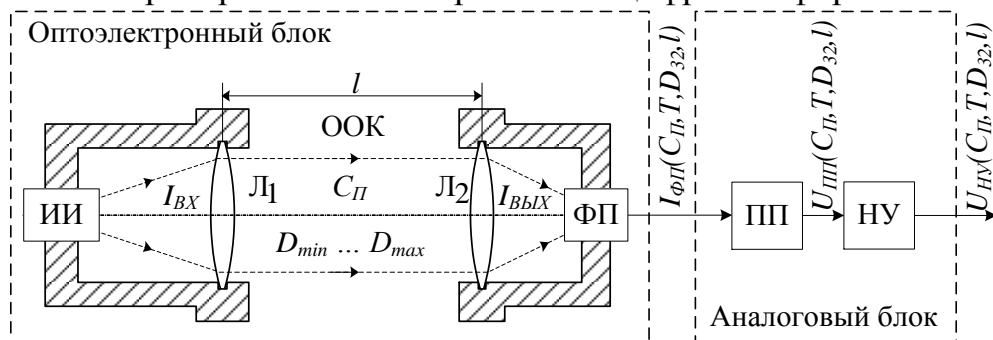


Рис.1. Структурная схема формирования информационного сигнала в канале измерения концентрации взвешенной пыли

В основу математической модели оптико-абсорбционного измерителя концентрации взвешенной пыли положен закон Бугер-Ламберта-Бера, который связывает коэффициент пропускания  $T_{\Pi\Pi}$  светового излучения с длиной волны  $\lambda$ , концентрацией исследуемого компонента  $C_{\Pi}$ , его дисперсностью  $D$ , длиной трассы оптического канала  $l$ , температурой  $T$  и определяется отношением интенсивностей излучения прошедшей  $I_{ВЫХ}(\lambda, C_{\Pi}, T, D, l)$  ООК к начальной  $I_{ВХ}(\lambda, T)$ :

$$T_{\Pi\Pi}(\lambda, C_{\Pi}, D, l) = I_{ВЫХ}(\lambda, C_{\Pi}, T, D, l) / I_{ВХ}(\lambda, T) = \exp(-K(\lambda, C_{\Pi}, D_{32}) \cdot l), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – длина волны излучения;  $K(\lambda, C_{\Pi}, D_{32})$  – спектральный показатель поглощения, характеризует ослабление света единичным объемом среды, содержащей независимо рассеивающие полидисперсные частицы пыли:

$$K(\lambda, C_{\Pi}, D_{32}) = \frac{3 \cdot C_{\Pi}}{2 \cdot \rho} \cdot \left( \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q(\alpha_{\lambda}, m(\lambda)) \cdot D^2 f(D) dD \right) \div \int_{D_{min}}^{D_{max}} D^3 f(D) dD, \quad (2)$$



где  $Q(\alpha_\lambda, m(\lambda))$  – фактор эффективности ослабления (ФЭО), описывает количественно эффект поглощения пылью и комплексно учитывает взаимодействие параметров преломления и поглощения оптического излучения;  $\alpha_\lambda = \pi D / \lambda$  – безразмерный параметр дифракции Ми;  $m(\lambda)$  – комплексный показатель преломления;  $\rho$  – плотность частиц угольной пыли;  $D_{32}$  – средний объемно-поверхностный диаметр частиц пыли, определяется на основе функции распределения  $f(D)$ , которая описывается для угольной пыли логнормальным законом с параметрами распределения  $b$ ,  $\beta$  и нормирующим множителем  $a$ :

$$f(D) = \frac{a}{D} \cdot \exp(-b \cdot \ln(\beta \cdot D)^2). \quad (3)$$

ФЭО рассчитывается согласно теории Ми с помощью формулы:

$$Q(\alpha_\lambda, m(\lambda)) = \frac{2}{\alpha_\lambda^2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} (2n+1) \operatorname{Re}(a_n + b_n), \quad (4)$$

где  $a_n, b_n$  – коэффициенты Ми, определяются по рекуррентным выражениям:

$$a_n(\alpha_\lambda, m(\lambda)) = \frac{\left( \frac{A_n(\alpha_\lambda \cdot m(\lambda))}{m(\lambda)} + \frac{n}{\alpha_\lambda} \right) \cdot \operatorname{Re}(\xi_n(\alpha_\lambda)) - \operatorname{Re}(\xi_{n-1}(\alpha_\lambda))}{\left( \frac{A_n(\alpha_\lambda \cdot m(\lambda))}{m(\lambda)} + \frac{n}{\alpha_\lambda} \right) \cdot \xi_n(\alpha_\lambda) - \xi_{n-1}(\alpha_\lambda)};$$

$$b_n(\alpha_\lambda, m(\lambda)) = \frac{\left( m(\lambda) \cdot A_n(\alpha_\lambda \cdot m(\lambda)) + \frac{n}{\alpha_\lambda} \right) \cdot \operatorname{Re}(\xi_n(\alpha_\lambda)) - \operatorname{Re}(\xi_{n-1}(\alpha_\lambda))}{\left( m(\lambda) \cdot A_n(\alpha_\lambda \cdot m(\lambda)) + \frac{n}{\alpha_\lambda} \right) \cdot \xi_n(\alpha_\lambda) - \xi_{n-1}(\alpha_\lambda)},$$

где  $\xi_n(\alpha_\lambda)$ ,  $A_n(\alpha_\lambda \cdot m(\lambda))$  – функции Риккати-Бесселя. Значение ФЭО считается найденным на  $N$ -м шаге итерационного процесса при выполнении условия:

$$\left( \sum_{n=1}^N (2n+1) \cdot \operatorname{Re}(a_n + b_n) \right) \cdot 10^{-8} > (2N+1) \cdot \operatorname{Re}(a_{N+1} + b_{N+1}).$$

Длина волны зондирующего излучения выбрана согласно условиям, при которых  $\lambda_{\min} > (\pi \cdot D_{32}) / 30$  и  $\lambda_{\max} < 0,1 \cdot \pi \cdot D_{32}$ . Выбраны согласованные по спектру светодиод C503-GAN (длина волны  $\lambda = 0,527$  мкм) и фотодиод BPW21R, работа которого обеспечена в фотогальваническом режиме (ток на выходе ФП не зависит от температуры окружающей среды), реализуемом на операционном усилителе по схеме трансимпедансного преобразователя, при этом падение напряжения на фотодиоде приближается к нулю, а ток пропорционален световому потоку. Выходное напряжение ПП представлено зависимостью:

$$U_{\text{ПП}}(C_{\text{П}}, T, D_{32}, l) = -I_{\text{ФД}}(C_{\text{П}}, T, D_{32}, l) \cdot R_1$$

где  $R_1$  – сопротивление, на котором преобразовывается ток в напряжение.

Выходное напряжение НУ должно быть унифицированным (приводится к уровню входных сигналов АЦП) и определяется следующей зависимостью:

$$U_{\text{НУ}}(C_{\text{П}}, T, D_{32}, l) = \left( 1 + \frac{R_{\text{ОС}}}{R} \right) \cdot (U_{\text{ПП}}(C_{\text{П}}, T, D_{32}, l) + U_{\text{смещ}}),$$

где  $U_{\text{смещ}}$  – напряжение смещения, с помощью которого устанавливают нулевой уровень сигнала на выходе ПП при  $C_{\text{П}} = 0 \text{ г/м}^3$ ;  $R_{\text{OC}}$  – сопротивление обратной связи неинвертирующего усилителя.

Характеристики преобразования светового излучения с длиной волны  $\lambda = 0,527 \text{ мкм}$  в выходное напряжение НУ канала измерения концентрации взвешенной пыли в диапазоне от 0 до  $3 \text{ г/м}^3$  при длине трассы  $l = 135 \text{ мм}$  приведены на рис. 2: а) при температурах  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  со средней дисперсностью  $D_{32} = 3,78 \text{ мкм}$  и б) при температуре  $+20 \text{ }^\circ\text{C}$  и изменении среднего значения дисперсности пыли в ООК на  $\pm 20\%$ .

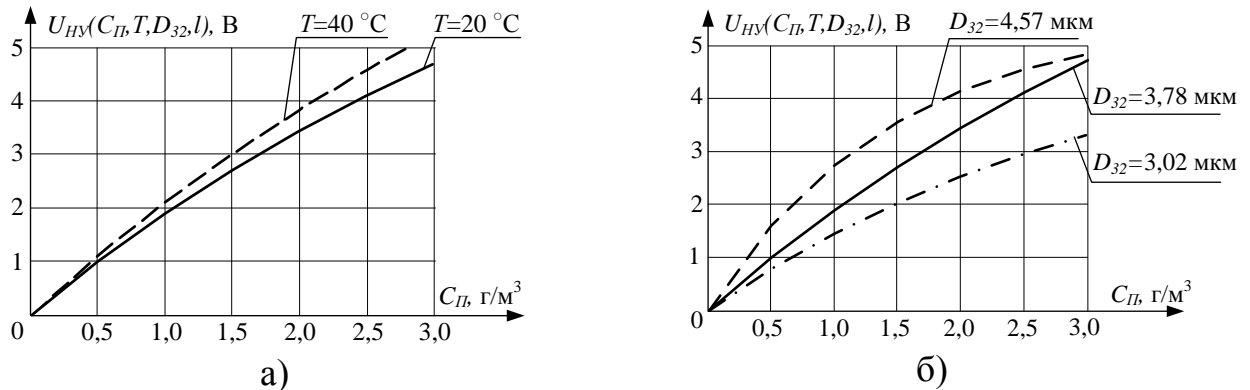


Рис. 2. Характеристики преобразования измерителя от концентрации пыли

Анализ зависимостей показал, что при повышении температуры на  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  от нормальных условий, максимальное значение дополнительной погрешности измерения составляет более  $20 \%$ , а при изменении средней дисперсности на  $\pm 20\%$ , значение дополнительной погрешности составляет более  $30\%$  в диапазоне измерения концентрации пыли от 0 до  $3 \text{ г/м}^3$ . Следовательно, изменение температуры и дисперсности пыли являются основными дестабилизирующими факторами, которые вносят существенные искажения в результаты измерений. С учетом этого, поставлена задача разработки методов и средств повышения точности и эффективности оптического измерителя концентрации угольной пыли для устранения данных составляющих погрешностей измерения.

**В третьем разделе** «Повышение эффективности оптико-абсорбционного измерителя концентрации угольной пыли» предложены методы и средства компенсации выявленных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы на метрологические характеристики микропроцессорного измерителя концентрации пыли.

На основе теоретических и экспериментальных исследований предложено использовать двухлучевой оптико-абсорбционный метод (см. рис. 3), который позволяет в режиме реального времени получать спектральные коэффициенты пропускания на различных длинах волн зондирующего излучения. Использование микропроцессорного блока (МП) в составе предложенного измерителя позволяет вычислять оптимальные параметры функции распределения  $f(D)$  частиц, массовую концентрацию пыли ( $C_{\text{П}}$ ) и ее дисперсность ( $D_{\text{min}} \dots D_{\text{max}}$ ) согласно алгоритму, приведенному на рис. 4.

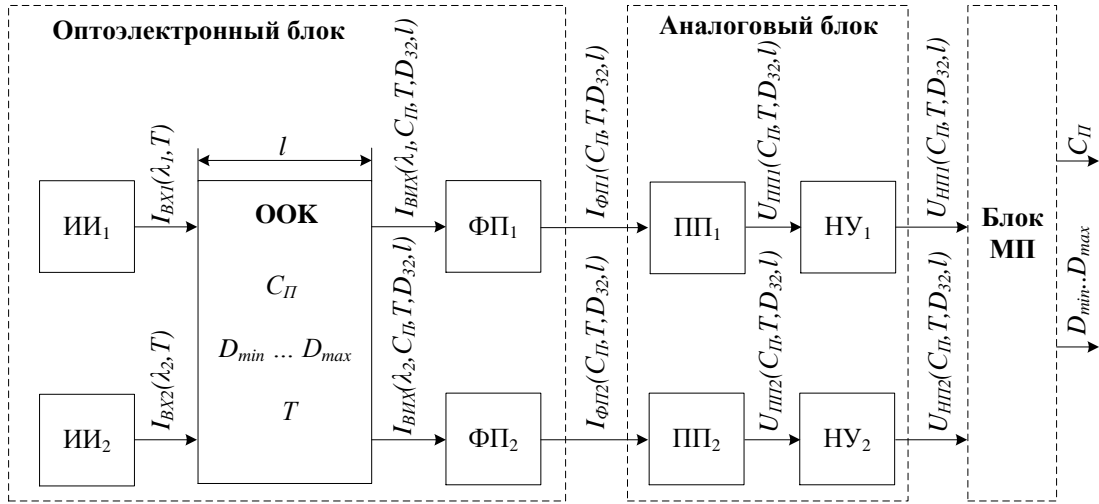


Рис. 3. Схема двухлучевого оптико-абсорбционного метода измерения концентрации и дисперсности взвешенного пыли

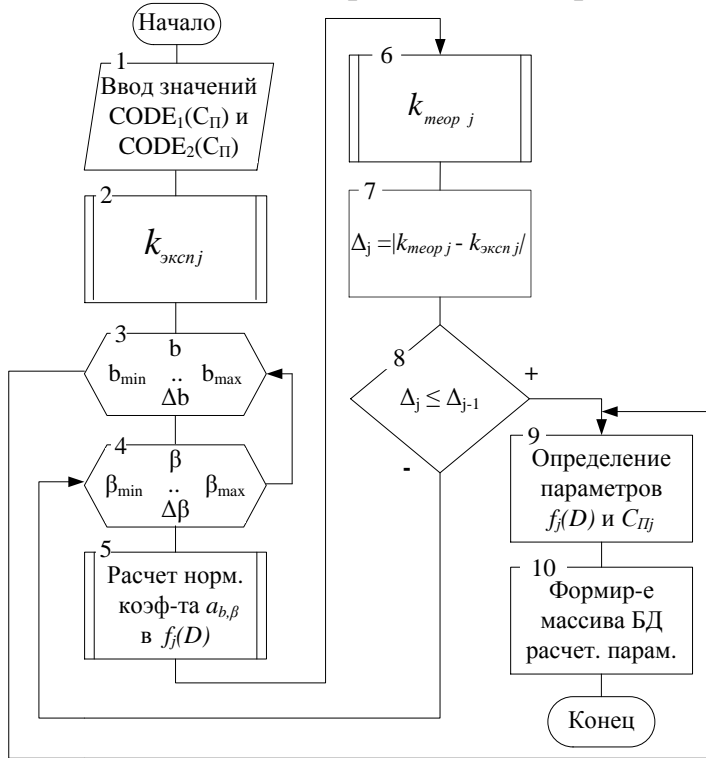


Рис.4. Алгоритм определения оптимальных параметров функции распределения и концентрации пыли

значения параметров  $b_{opt}$  и  $\beta_{opt}$  функции распределения  $f_j(D)$ , при которых достигается наименьшее отклонение значений экспериментального ( $k_{экспj}$ ) и теоретического ( $k_{теорj}$ ) отношений коэффициентов спектральной прозрачности  $\Delta_j = |k_{экспj} - k_{теорj}|$ , где

$$k_{теорj} = \frac{\tau_j^{теор}(\lambda_1)}{\tau_j^{теор}(\lambda_2)} = \left( \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q(m(\lambda_1), \alpha(\lambda_1)) D^2 \cdot f_j(D) dD \right) \div \left( \int_{D_{min}}^{D_{max}} Q(m(\lambda_2), \alpha(\lambda_2)) D^2 \cdot f_j(D) dD \right).$$

На основе известных значений  $b_{opt}$  и  $\beta_{opt}$  рассчитывается массовая концентрация пылевого аэрозоля  $C_{Пj}$  с учетом оптимального значения  $D_{32\ opt}$  (блок

Организация алгоритма предполагает: ввод цифровых эквивалентов ( $CODE_1(C_{П})$  и  $CODE_2(C_{П})$ ) значений измеренных выходных напряжений  $U_{НУ1}(C_{П}, T, D_{32}, l)$  и  $U_{НУ2}(C_{П}, T, D_{32}, l)$  двух каналов измерителя концентрации пыли (блок 1); расчет осредненного экспериментального значения  $k_{экспj}$  – отношения коэффициентов спектральной прозрачности для двух длин волн излучений –  $\lambda_1, \lambda_2$  (блок 2), которое получено в результате планируемых многофакторных экспериментов.

В блоках 3 – 8 алгоритма методом оптимизации по координатного спуска устанавливаются оптимальные

9), а также происходит формирование массива базы данных расчетных текущих значений  $C_{Пj}$  и параметров функции распределения  $f_j(D)$  (блок 10), где

$$C_{Пj} = 0,5 \cdot \sum_{i=1}^2 \frac{\tau^{\text{эксн}}(\lambda_i) \cdot \rho \cdot D_{32\text{онм}}}{1,5 \cdot l \cdot \bar{Q}(\lambda_i)}$$

Выбраны оптимальные спектры источников излучения с различными длинами волн из условий  $\lambda_{\min} > (\pi \cdot D_{32\text{онм}})/30$  и  $\lambda_{\max} < 0,1 \cdot \pi \cdot D_{32\text{онм}}$ . Между интенсивностями  $I_{BX1}(\lambda_1, T)$ ,  $I_{BX2}(\lambda_2, T)$  двух световых потоков устанавливалось соотношение, при котором выходные токи ФП равны  $I_{ФП1}(C_{П}, T, D_{32\text{онм}}, l) = I_{ФП2}(C_{П}, T, D_{32\text{онм}}, l)$ , когда  $C_{П} = 0$  г/м<sup>3</sup>. Этим условиям удовлетворяли параметры светодиодов С503-BAN ( $\lambda_1 = 0,47$  мкм) и С503-RAN ( $\lambda_2 = 0,624$  мкм). Характеристики преобразования световых излучений с различными длинами волн на выходе НУ<sub>1</sub> и НУ<sub>2</sub> двухлучевого измерителя концентрации (от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>) и дисперсности пыли с  $l = 135$  мм при влиянии температуры приведены на рис. 5 для нормальных условий (+20 °С) и при температуре +40 °С. Дестабилизирующий фактор – температура искажает результаты измерения и вызывает увеличение дополнительных погрешностей для первого канала ( $\lambda_1 = 0,47$  мкм) на 13 %, а для второго ( $\lambda_2 = 0,624$  мкм) – на 5%, что требует их уменьшения.

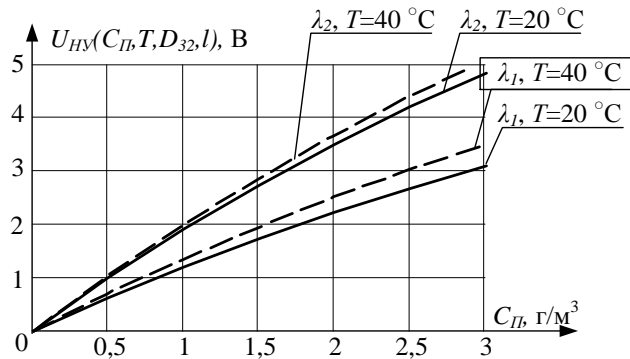


Рис. 5. Характеристика преобразования для двух различных источников излучения с учетом изменения температуры

Для устранения дестабилизирующих факторов и повышения точности измерения предложено ввести в схему двухлучевого измерителя дополнительный закрытый оптический канал (ЗОК) компенсации по температуре, а открытые оптические каналы двух измерительных ячеек с различными длинами волн объединить в один, что позволило уменьшить аппаратную избыточность и общее загрязнение оптики. При этом для разделения световых потоков от источников излучения по каналам в пространстве предложено использовать полупрозрачное зеркало (ППЗ), а для временного разделения двух потоков с различными длинами волн – коммутацию с помощью сигналов управления ( $СУ_i$ ). Усовершенствованная структурная схема двухлучевого измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли с компенсацией температуры приведена на рис. 6.

Светодиоды ИИ<sub>1</sub> и ИИ<sub>2</sub>, формируя направленные потоки оптического излучения, попадают на ППЗ. Части потоков от ИИ<sub>1</sub> и ИИ<sub>2</sub>, пропорциональные коэффициентам пропускания ( $K_{ПР}$ ) и отражения ( $K_{ОТР}$ ), попадают в ЗОК и ООК. При прохождении через ООК величины оптических потоков уменьшаются благодаря поглощению и рассеянию частицами пыли с концентрацией  $C_{П}$  и дис-

персностью в диапазоне от  $D_{min}$  до  $D_{max}$ , формируя информационные составляющие измерительных сигналов, разделенных во времени, на разных длинах волн излучения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ , и составляющие величины, пропорциональные изменению температуры рудничной атмосферы. Временные интервалы работы ИИ<sub>1</sub> и ИИ<sub>2</sub> задаются драйверами управления ДР<sub>1</sub> и ДР<sub>2</sub>. Синхронизация аппаратных средств измерителя осуществляется микропроцессором МП благодаря сигналам управления (СУ<sub>1</sub> и СУ<sub>2</sub>). При прохождении излучения через ЗОК, формируются информационные сигналы, пропорциональные только изменению температуры.

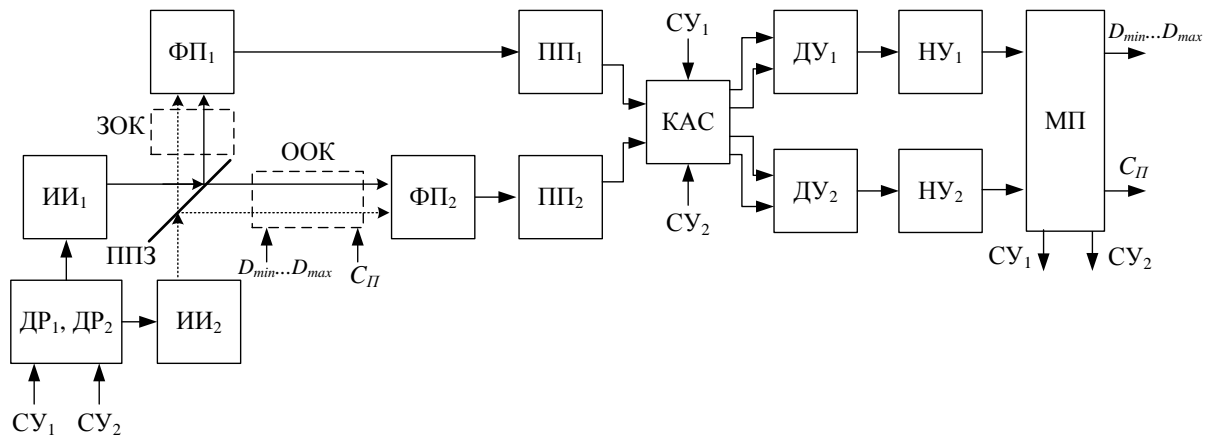


Рис. 6. Схема двухлучевого измерителя концентрации и дисперсности пыли с аппаратным способом температурной компенсации

Настройка измерителя концентрации пыли осуществляется при концентрации пыли в ООК  $C_{П}=0$  г/м<sup>3</sup> с помощью термостата при дискретных значениях температуры от +5 до +35 °С и по выходным напряжениям разностных дифференциальных усилителей (ДУ<sub>1</sub> и ДУ<sub>2</sub>) для различных длин волн  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  путем устранения мультипликативной и аддитивной асимметрии выходных сигналов предварительных усилителей ЗОК (ПП<sub>1</sub>) и ООК (ПП<sub>2</sub>) по соотношению:

$$U_{ДУi}(\lambda_i, C_{П}) = U_{ПП1}(\lambda_i, T) - K_{АС} \cdot U_{ПП2}(\lambda_i, C_{П}, T) = [U'_{ПП1}(\lambda_i) + \Delta U''_{ПП1}(T)] - K_{АС} \cdot [U'_{ПП2}(\lambda_i, C_{П}) + \Delta U''_{ПП2}(T)],$$

где  $U_{ДУi}$  – выходные напряжения разностных дифференциальных усилителей на различных длинах волн при изменении концентрации пыли  $C_{П}$ ;  $U_{ПП1}(\lambda_i, T)$  – выходное напряжение ПП<sub>1</sub> ЗОК, состоящее из аддитивных составляющих на различных длинах волн ( $U'_{ПП1}(\lambda_i)$ ) и температурного дрейфа выходных сигналов ( $\Delta U''_{ПП1}(T)$ );  $U_{ПП2}(\lambda_i, C_{П}, T)$  – выходное напряжение ПП<sub>2</sub> ООК, состоящее из аддитивных составляющих на различных длинах волн ( $U'_{ПП2}(\lambda_i, C_{П})$ ) при изменении концентрации пыли  $C_{П}$  и температуры выходных сигналов ( $\Delta U''_{ПП2}(T)$ );  $K_{АС}$  – коэффициент передачи по напряжению ПП<sub>2</sub> ООК, изменение которого устраняет мультипликативную составляющую асимметрии компенсационного (ЗОК) и измерительного (ООК) каналов.

Для повышения степени защищенности оптических узлов от запыленности предложена конструкция измерителя, включающая пылезащитные насадки – бленды с конусными кольцами. Для оценки влияния влаги атмосферного воздуха в диапазоне от 60 до 100 % на спектральные характеристики зондирующих излучений проведено математическое моделирование, в результате кото-

рого установлено, что значение дополнительной погрешности измерения не превышает 0,1 %, – поэтому, влиянием данного фактора можно пренебречь.

**В четвертом разделе** «Структурно-алгоритмический синтез микропроцессорной ИИС контроля концентрации пыли в рудничной атмосфере» обосновано структурно-алгоритмическое построение микропроцессорной ИИС контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт и разработан алгоритм ее функционирования.

Исходя из анализа требований, которые ставятся к разработанной ИИС, определены ее базовые функции и рассмотрены средства, реализующие эти функции. Учет всех связей между базисными функциями аппаратных средств и дополненными измерительными каналами, позволили объединить их в единый измерительный микропроцессорный модуль, который включен как подсистема ИИС контроля концентрации пыли рудничной атмосферы шахт в телекоммуникационный комплекс УТАС аэрогазовой защиты. Структурная схема микропроцессорного модуля приведена на рис. 7. Взаимодействие блоков схемы в процессе обработки информационных сигналов при решении задачи контроля массовой концентрации взвешенной угольной пыли составляет алгоритм функционирования системы.

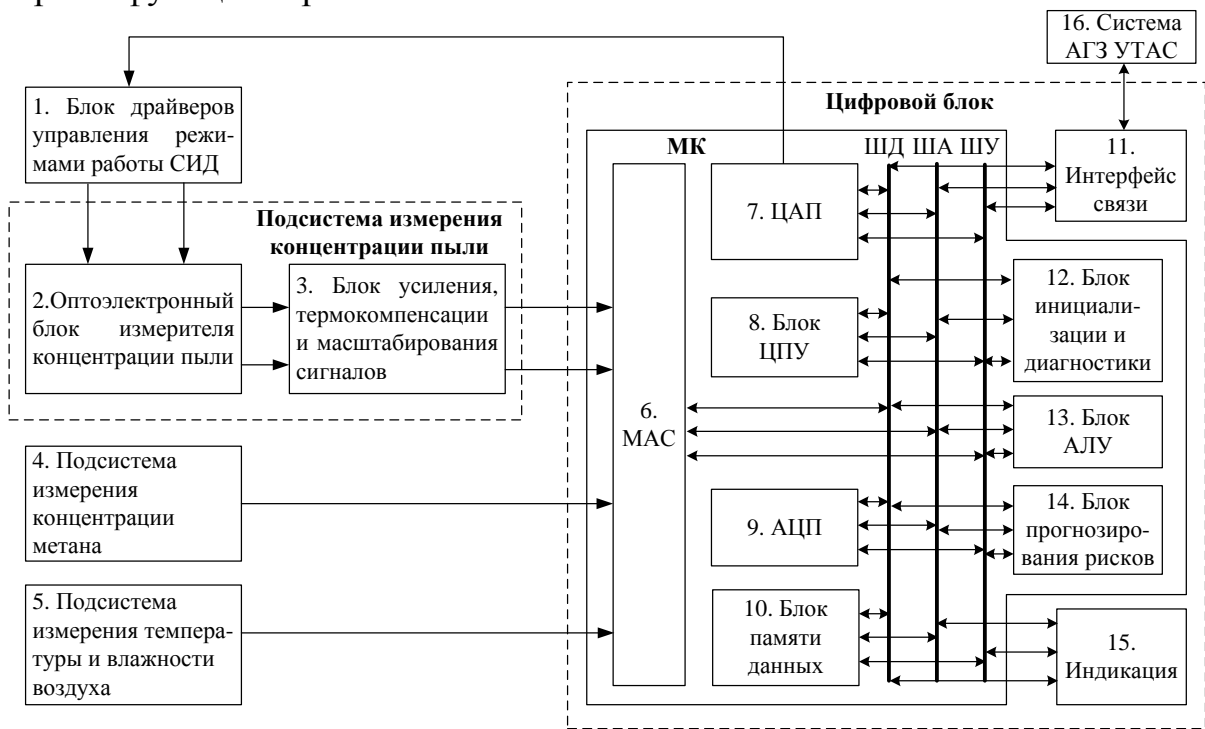


Рис. 7. Структурная схема микропроцессорного модуля ИИС контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт

Режимы работы двух светодиодов задаются соответствующими драйверами блока управления (1). При запуске системы выполняется инициализация аппаратных средств и блоков модуля (12) микропроцессорной ИИС, – данный блок осуществляет тестирование подключения следующих блоков и устройств: измерительных каналов подсистем контроля концентрации пыли (2) и (3), метана (4), температуры и влажности воздуха (5); блока индикации (15); блока линии связи по интерфейсу RS-485 (11) с диспетчерским пунктом АГЗ УТАС (16). После выполнения инициализации аппаратных средств ИИС по команде блока центрального процессорного устройства (8) проводится диагностика бло-

ков и подсистем. Если инициализация и диагностика подсистем проведены успешно, выполняется основной цикл работы микропроцессорной ИИС – контроль концентрации взвешенной угольной пыли в шахте.

Согласно алгоритму основного цикла программы функционирования ИИС происходит поочередная подача сигналов управления  $SU_i$  в блок драйверов (1) светодиодов оптоэлектронного блока (2) измерителя, формирующих зондирующие излучения, которые после прохождения через ООК и преобразования в ток фотоприемником несут информацию о концентрации и дисперсности пыли. Одновременно формируются сигналы на выходе фотоприемника ЗОК, несущие информацию о температурной нестабильности световых потоков излучений. Сформированные сигналы на выходах ООК и ЗОК попадают в блок усиления и термокомпенсации (3) для преобразования их в унифицированный вид. С помощью мультиплексора (6) аналоговые сигналы с измерительных каналов подсистем концентрации пыли, метана (4), температуры и влажности (5) поочередно поступают в блок аналого-цифрового преобразователя (9), где на выходе формируются цифровые коды, обработка которых осуществляется в блоке ЦПУ (8). Обработка данных, накопленных в памяти данных (10), с помощью блока арифметико-логического устройства (13) предусматривает теоретический расчет НПВ угольной пыли и сравнение его с установленным экспериментально значением массовой концентрации пыли с учетом дисперсности частиц, запыления смотровых стекол.

В блоке прогнозирования (14) происходит оценка достоверных вероятностей рисков превышения НПВ пыли ( $S_{ПНПВ}$ ) и возникновения взрывоопасных ситуаций в шахтной выработке на основе анализа предыстории накопленных в памяти данных о динамике изменения измеряемых параметров комплекса компонент пылегазовой смеси. Анализ рисков крайне необходим для принятия решения о последующем безопасном проведении очистных и подготовительных горных работ в шахтной атмосфере. Полученные результаты расчетов отображаются в реальном времени с помощью блока индикации (15), как в цифровом так и в графическом виде, и с помощью интерфейса RS-485 передаются в диспетчерский пункт АГЗ УТАС.

На основании анализа существующих современных средств вычислительной техники предложено использовать в разработанной ИИС программируемый микропроцессор серии AT Mega 32U4, который обеспечивает необходимое быстродействие при цифровой обработке данных, удовлетворяющее поставленным требованиям (0,5 с).

**В пятом разделе** «Разработка, результаты исследований и использования измерителя концентрации угольной пыли» проведена оценка метрологических характеристик созданного макетного образца двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли.

Для проведения лабораторных испытаний создан специальный стенд, где физическая среда моделируется термостатированной пылевой камерой (объем  $V_K = 0,082 \text{ м}^3$ ; диапазон регулирования температуры  $20 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ; скорость потока воздуха – не более 5 м/с). В качестве контрольного измерителя использован сертифицированный прибор ПКА-01. Разработана программа и методика в формате планируемого многофакторного эксперимента, который отображает

возможные состояния рудничной атмосферы по концентрации, температуре, дисперсности и маркам угля.

Макетный образец измерителя с термокомпенсацией дрейфа выходных сигналов состоит из двух светодиодов С503-ВАН (длина волны  $\lambda = 0,47$  мкм), С503-РАН ( $\lambda = 0,624$  мкм) и двух согласованных по спектру фотодиодов ООК и ЗОК – ВРW21R, при этом длина трассы ООК составляет 135 мм.

При лабораторных испытаниях макетного образца измерителя в термостате получены зависимости усредненных значений выходных напряжений двух нормирующих усилителей (см. рис. 8) и установлено, что при использовании аппаратной компенсации температуры уменьшены дополнительные погрешности измерения концентрации пыли в температурном диапазоне (+5 ... +35) °С до 2,7 мг/м<sup>3</sup> (для канала с  $\lambda = 0,47$  мкм) и до 3,6 мг/м<sup>3</sup> ( $\lambda = 0,624$  мкм), что согласуется с требованиями ГОСТ.

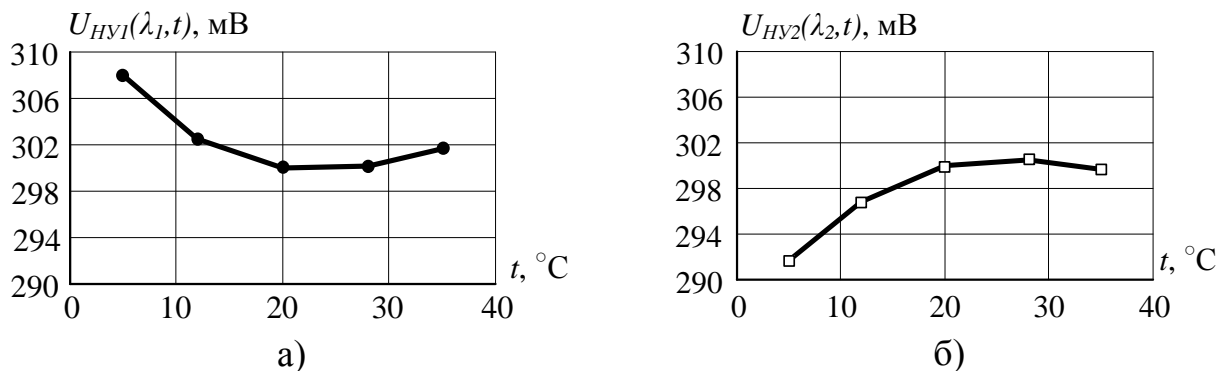


Рис. 8. Зависимости действующих значений  $U_{HV1}$  и  $U_{HV2}$  от температуры

При обработке экспериментальных данных определены характеристики преобразования макетного образца измерителя (см. рис. 9) в диапазоне концентрации пыли от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>, значения средних чувствительностей выходных сигналов от концентрации, а так же среднеквадратические значения основных погрешностей двух измерительных каналов, которые не превышают  $\pm 13,5$  г/м<sup>3</sup> и  $\pm 12,2$  г/м<sup>3</sup> соответственно.

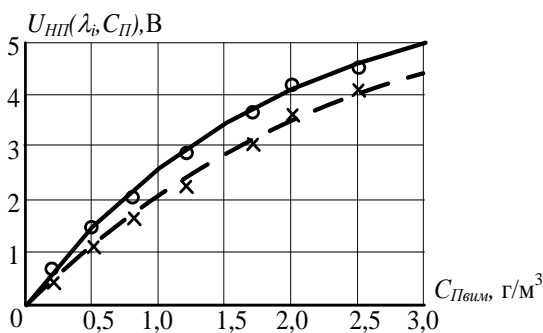


Рис. 9. Характеристики преобразования двух каналов измерителя

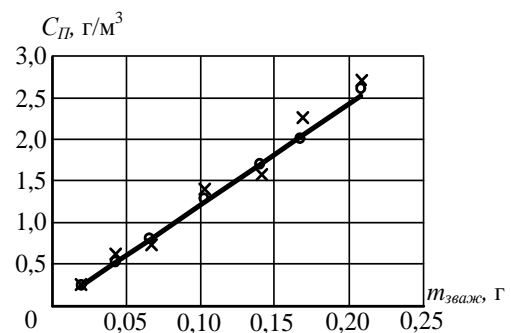


Рис. 10. Зависимость измеряемой концентрации от массы взвешенной пыли

Установлены среднеквадратические отклонения измеряемых концентраций от расчетного значения  $C_{П,расч}(m_{взв})$  (на рис. 10 обозначено —) при изменении массы взвешенной пыли  $m_{взв}$ , которые составляют: для разработанного измерителя (○) не более 4,7 %, а для прибора (×) ПКА-01 – 11,1 %. Это свидетельствует о том, что точность измерения концентрации угольной пыли с по-



мощью макетного образца двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя выше, чем аспирационным прибором ПКА-01 более чем в 2 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационных исследований была решена актуальная научно-практическая задача разработки надежных автоматических быстродействующих средств измерения и контроля концентрации взвешенной пыли в шахтной атмосфере в режиме реального времени, которые позволяют с высокой точностью измерять концентрацию и дисперсность угольной пыли с учетом внешних дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы, что позволяет обеспечить прогнозирование рисков взрывоопасных ситуаций в угольных шахтах.

Основные выводы и научные результаты работы состоят в следующем:

1. Предложена усовершенствованная математическая модель двухлучевого оптико-абсорбционного быстродействующего измерителя концентрации угольной пыли, учитывающая влияние основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы – температуры и дисперсности частиц пыли, что позволило сформулировать требования к разработке макетного образца измерителя концентрации пыли.

2. Предложено использовать двухлучевой оптико-абсорбционный способ измерения концентрации угольной пыли, позволяющий за счет двух различных длин волн зондирующих излучений получить информацию о дисперсном составе частиц пыли. Предложенный алгоритм обработки данных измерений позволил определить оптимальные параметры функции распределения частиц по дисперсности в диапазоне от 1 до 10 мкм.

3. Предложен метод аппаратной компенсации температурного дрейфа измерителя в диапазоне изменения температуры от + 5 до + 35 °С за счет использования дополнительного закрытого оптического канала, что позволило уменьшить дополнительную погрешность измерения концентрации пыли для первого канала до 2,7 мг/м<sup>3</sup> (длина волны излучения  $\lambda_1 = 0,47$  мкм) и для второго канала до 3,6 мг/м<sup>3</sup> ( $\lambda_2 = 0,624$  мкм).

4. Повышена метрологическая надежность оптической части разработанного двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации пыли путем уменьшения количества оптических узлов и общего загрязнения оптических элементов при объединении двух открытых каналов с различными длинами волн излучений в один, за счет применения полупрозрачного зеркала и временного разделения работы каналов.

5. Для проведения лабораторных испытаний макетного образца измерителя концентрации и дисперсности угольной пыли создана термостатированная пылевая камера с параметрами: объем  $V_K = 0,082$  м<sup>3</sup>; скорость воздуха – не более 5 м/с; температура  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ . В качестве контрольного пылемера использован сертифицированный аспирационный измеритель ПКА-01 (приведенная погрешность измерения  $\pm 20\%$  в диапазоне измерения концентрации пыли от 0 до 5 г/м<sup>3</sup>) для оценки метрологических характеристик разработанного макетного образца измерителя.

6. Разработана методика лабораторных испытаний макетного образца измерителя для определения его характеристик преобразования в диапазоне из-

менения концентрации пыли от 0 до 3 г/м<sup>3</sup> и оценки основной абсолютной погрешности измерения, величина которой составила не более 13,5 мг/м<sup>3</sup>, что удовлетворяет поставленным требованиям по точности.

7. На основе поставленных требований к базисным функциями и программному обеспечению выполнен структурно-алгоритмический синтез микропроцессорной ИИС контроля концентрации угольной пыли для системы аэрогазовой защиты угольных шахт, разработан алгоритм функционирования ИИС, который реализован в аппаратно-программном модуле.

8. Разработан программный блок прогнозирования рисков взрывоопасной ситуации в шахтных выработках, предусматривающий вычисление нижнего порога взрывчатости пылегазовой смеси для принятия решения в системе диспетчеризации по безопасности проведения горных работ на основе накопленной информации о динамике изменения следующих параметров: концентрации взвешенной угольной пыли (от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>), метана (от 0 до 4<sup>об.</sup>%), температуры (от +5 до +35 °С), влажности воздуха (от 0 до 10 г/м<sup>3</sup>).

9. Результаты научных и практических исследований диссертационной работы внедрены при разработке опытного образца измерителя концентрации угольной пыли для системы аэрогазовой защиты угольных шахт УТАС Государственным предприятием «Петровский завод угольного машиностроения», а также используются в учебном процессе кафедры «Электронная техника» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» при подготовке специалистов и магистров по специальностям «Электронные системы» и «Научные, аналитические и экологические приборы и системы».

## **СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Соломічев Р.І. Розробка та обґрунтування структури вимірювальної системи контролю вибухонебезпечних пило-газових сумішей в шахтному виробітку / Р.І. Соломічев, О.В. Вовна, А.А. Зорі // Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць «Електроенергетика та перетворювальна техніка». – Харків, 2014. – № 19 (1062). – С. 154 – 163.

2. Соломічев Р.І. Дослідження двопробеневого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації і дисперсності пилу в умовах вугільних шахт. / Р.І. Соломічев // Наукові праці Донецького НТУ. Серія : "Обчислювальна техніка та автоматизація". – Донецьк, 2014. – Випуск 2(27). – С. 200 – 208.

3. Соломічев Р.І. Обоснование и разработка требований к оптоэлектронным компонентам макетного образца измерителя концентрации пыли / Р.І. Соломічев // Наукові праці Донецького НТУ. Серія : "Обчислювальна техніка та автоматизація". – Донецьк, 2013. – Випуск 2(25). – С. 261 – 269.

4. Соломічев Р.І. Разработка математической модели измерителя концентрации угольной пыли в шахте / Р.І. Соломічев // Сборник научных трудов технологического института Южного федерального университета. – Таганрог, 2013. – Випуск 5. – С. 75 – 80.

5. Соломічев Р.І. Прилад вимірювання концентрації пилоповітряної суміші в атмосфері вугільної шахти на основі методу світлопоглинання / Р.І. Соломічев // Збірник наукових праць Східноукраїнського національного

університету ім. В. Даля. – Луганськ, 2012. – Випуск 18 (189). – С. 234 – 239.

6. Соломічев Р.І. Дослідження впливу зміни концентрації компонент пило-газової суміші на поріг вибуховості в умовах вугільних шахт / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І Соломічев // Наукові праці Донецького НТУ. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". – Донецьк, 2012. – Випуск 23 – С. 145 – 152.

7. Соломічев Р.І. Алгоритмічно-структурний синтез системи контролю вибухонебезпечних газових сумішей рудничної атмосфери / Р.І. Соломічев, О.В. Вовна // Збірник наукових праць XIV міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих». – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – С. 313 – 317.

8. Соломічев Р.І. Двопроменевий спосіб вимірювання концентрації і дисперсності пилового аерозолю у вугільних шахтах / Р.І. Соломічев // Збірник тез доповідей Другої наукової міжнародної конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС–2013), – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – С. 111–113.

9. Соломичев Р.И. Обоснование режима работы фотодиода в схемной реализации аналогового блока измерителя концентрации пыли / Р.И. Соломичев // Збірник наукових праць XIII міжнародної науково-технічної конференції аспірантів і студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих». – Донецьк: ДонНТУ, 2013. – С. 357–361.

10. Соломічев Р.І. Підвищення точності вимірювання концентрації пилу в шахті на основі оптичного методу / Р.І. Соломічев // Збірник тез доповідей XII міжнародної науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи». – К., 2013. – С. 71 – 72.

11. Соломічев Р.І. Комплексне врахування впливу компонент рудничної атмосфери при розрахунку нижньої концентраційної межі вибуховості вугільного пилу / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І. Соломічев, // Збірник тез доповідей Першої всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і аспірантів «Современные тенденции развития приборостроения». – Луганськ, 2012. – С. 272 – 273.

12. Соломічев Р.І. Вимірювання концентрації пилогазових сумішей та їх вплив на поріг вибуховості в шахті / О.В. Вовна, А.А. Зорі, Р.І. Соломічев // Збірник тез доповідей Першого регіонального науково-практичного семінару «Теоретичні та практичні аспекти приладобудування». – Луганськ, 2012. – С. 66–68.

13. Solomichev R.I. Methane speed meter development and investigation invariant to dust mine atmosphere / A.V. Vovna, A.A. Zori, R.I. Solomichev // Матеріали науково-технічної конференції молодих вчених «Young scientists' researches and achievements in science». – Донецьк, 2012. – С. 94 – 100.

Личный вклад автора в публикациях, написанных в соавторстве: [1] – составлен и обоснован алгоритм прогнозирования наступления взрывоопасной ситуации в шахте; [6] – проанализировано влияние угольной пыли и метана на НПВ пылегазовой смеси; [7] – разработана структура микропроцессорной ИИС контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт; [11] – получена эмпирическая зависимость НПВ угольной пыли от ее параметров, концентрации метана и влажности воздуха рудничной атмосферы; [12] – разработана матема-

тическая модель распределения пылевого аэрозоля по длине выработки угольной шахты с учетом отложившейся пыли на поверхностях выработки; [13] – разработаны алгоритмы функционирования микропроцессорной системы.

## АННОТАЦИЯ

**Соломичев Р.И. Микропроцессорная информационно-измерительная система контроля концентрации пыли для аэрогазовой защиты угольных шахт. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.05 – «Компьютерные системы и компоненты». – ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2014.

Диссертация посвящена разработке методов и средств повышения быстродействия и точности измерителя концентрации взвешенной пыли в атмосфере угольных шахт на основе двухлучевого оптико-абсорбционного метода контроля с общим открытым оптическим каналом с учетом влияния основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы.

Разработана математическая модель оптико-абсорбционного измерителя концентрации угольной пыли в диапазоне от 0 до 3 г/м<sup>3</sup>, учитывающая влияние основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы – температуры и дисперсности частиц пыли на параметры оптоэлектронного измерителя, что позволило оценить метрологические характеристики измерительной системы.

Для учета изменения дисперсного состава пылевого аэрозоля предложено использовать двухлучевой оптико-абсорбционный способ измерения концентрации и дисперсности угольной пыли с разработанным алгоритмом обработки экспериментальных данных, с помощью которого определяются параметры функции распределения частиц по дисперсности в диапазоне (1 ÷ 10) мкм.

Предложен метод аппаратной компенсации температурного дрейфа выходных сигналов двух оптических измерительных каналов за счет использования дополнительного закрытого оптического канала, что позволило уменьшить дополнительные погрешности измерения концентрации пыли при изменении температуры от +5 до +35 °С в 4,3 и 7,8 раза для двух различных длин волн.

Синтезирована и обоснована структура микропроцессорной ИИС контроля концентрации пыли в атмосфере угольных шахт, разработан алгоритм ее функционирования, согласно которому предусмотрен прогноз взрывоопасной ситуации в шахте за счет измерения и контроля концентрации пыли, метана, температуры, влажности воздуха и накопления информации о динамике изменения данных параметров.

Разработан макетный образец двухлучевого оптико-абсорбционного измерителя концентрации взвешенной пыли с учетом и компенсацией основных дестабилизирующих факторов рудничной атмосферы и методика его градуировки. Разработан лабораторный стенд – пылевая камера, для исследования и оценки метрологических характеристик разработанного измерителя концентрации пыли. Макетный образец положен в основу разработки опытного образца

ИИС Государственным предприятием «Петровский завод угольного машиностроения».

**Ключевые слова:** рудничная атмосфера, концентрация, пыль, дисперсность, модель, измеритель, оптико-абсорбционный метод, температура, компенсация, алгоритм, информационно-измерительная система.

**Соломічев Р.І. Мікропроцесорна інформаційно-вимірювальна система контролю концентрації пилу для аерогазового захисту вугільних шахт. – рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.05 – «Комп'ютерні системи та компоненти». – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2014.

Дисертація присвячена розробці методів та засобів підвищення швидкодії і точності вимірювача концентрації зваженого пилу в атмосфері вугільних шахт на основі двопробеневого оптико-абсорбційного методу контролю зі спільним відкритим оптичним каналом з урахуванням впливу основних дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери.

Розроблена математична модель оптико-абсорбційного вимірювача концентрації вугільного пилу в діапазоні від 0 до  $3 \text{ г/м}^3$ , яка враховує вплив основних дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери – температури та дисперсності частинок пилу на параметри оптоелектронного вимірювача, що дозволило оцінити метрологічні характеристики вимірювальної системи.

Для врахування зміни дисперсного складу пилового аерозолі запропоновано використати двопробеневий оптико-абсорбційний спосіб вимірювання концентрації та дисперсності вугільного пилу із розробленим алгоритмом обробки експериментальних даних, за допомогою якого визначаються параметри функції розподілення частинок за дисперсністю в діапазоні  $(1 \div 10)$  мкм.

Запропоновано метод апаратної компенсації температурного дрейфу вихідних сигналів двох оптичних вимірювальних каналів за рахунок використання додаткового закритого оптичного каналу, що дозволило зменшити складові похибки вимірювання концентрації пилу, які викликані зміною температури в діапазоні від  $+5$  до  $+35$  °С, в 4,3 та 7,8 разів для двох різних довжин хвиль.

Синтезована та обґрунтована структура мікропроцесорної ІВС контролю концентрації пилу в атмосфері вугільних шахт та розроблений алгоритм її функціонування, згідно якому передбачено прогноз вибухонебезпечної ситуації в шахті за рахунок вимірювання та контролю концентрації пилу, метану, температури, вологості повітря та накопичення інформації про динаміку змінення даних параметрів.

Розроблено макетний зразок двопробеневого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації зваженого пилу з урахуванням та компенсацією основних дестабілізуючих факторів рудничної атмосфери та методика його градування. Розроблений лабораторний стенд – пилова камера для дослідження та оцінки метрологічних характеристик розробленого вимірювача концентрації пилу. Макетний зразок покладено в основу розробки дослідного зразка ІВС Державним підприємством «Петровський завод вугільного машинобудування».

**Ключові слова:** руднична атмосфера, концентрація, пил, дисперсність, модель, вимірювач, оптико-абсорбційний метод, температура, компенсація, алгоритм, інформаційно-вимірювальна система.

**Solomichev R.I. Microprocessor information-measuring system of dust concentration control for aerogas protection in coal mines. – Manuscript.**

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Specialty 05.13.05 – «Computer Systems and Components». – State Higher Educational Establishment «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2014.

The dissertation is devoted to the development of methods and means of accuracy and speed increasing of the airborne dust concentration measuring instrument in the atmosphere of coal mines based on the two-beam optical absorption control method with common open optical channel taking into account the influence of the main destabilizing factors of the mine atmosphere.

The mathematical model of optical absorption measuring instrument of the coal dust concentration in the range from 0 to 3 g/m<sup>3</sup> is designed, taking into account the influence of the main destabilizing factors in the mine atmosphere - temperature and dispersion of dust particles, on the parameters of the optoelectronic measuring instrument, that allowed us to estimate the metrological characteristics of the measuring system.

There is proposed to use a two-beam optical absorption method of concentration and dispersion measurement of the coal dust for accounting of the changes in the dispersed composition of dust aerosol, with the developed algorithm for processing of the experimental data, using which parameters of the distribution function of particles in dispersion in the range of (1÷10) mcm are determined.

The method of hardware temperature instability compensation of output signals of the two optical measuring channels is proposed by using an additional closed optical channel, thus reducing the measurement error constituents of dust concentration caused by temperature changes in the range of +5 to +35 °C in 4.3 7.8 times.

The structure of the microprocessor IMS of dust concentration control in the atmosphere of coal mines is synthesized and substantiated, the operation algorithm is developed, according to which the forecast of an explosive situation in the mine is provided by measuring and monitoring the concentration of methane, temperature, air humidity and accumulation an information about these parameters dynamics.

The model sample of two-beam optical absorption airborne dust concentration measuring instrument is designed with the compensation of the main destabilizing factors of the mine atmosphere, and technique of its graduation - too. The laboratory stand is designed - the dust chamber for investigation and evaluation of the metrological characteristics of the developed dust concentration measuring instrument. The model sample is the basis for the development of the IMS prototype by State Enterprise "Petrovsky plant of coal mechanical engineering."

**The keywords:** mine atmosphere, concentration, dust, dispersion, model, measuring instrument, optical absorption method, temperature, compensation, algorithm, information-measuring system.

*Віддруковано на різнографі  
ТОВ фірма "ДРУК-ІНФО"  
Подп. до друку 14.10.2014 г.  
Умов. друк. арк. 0,9  
Тираж 100 прим. Замовлення № 729  
83000, г. Донецьк, вул. Артема, 58, к. 113  
Тел. 335-64-55*