

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Зори А.А., проф., д.т.н. (Ph.D.); Пашенко А.С., студент

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Общая постановка проблемы. С каждым годом растут объемы выработки угольной промышленности, что в свою очередь вызывает повышение газо- и пылевыделения в рудничной атмосфере шахт. Важное значение для безопасности подземных работ имеет контроль концентрации тонкодисперсной пыли, быстродействие системы и достоверность полученных результатов, т.к. обильные пылевыделения ведут к повышению вероятности возникновения взрывоопасной ситуации, а также противоречит нормам ГОСТ «О гигиене труда в угольных шахтах». На сегодняшний день существует много устройств, способных выполнять подобные задачи, однако большинство из них не отражают динамику характеристик объекта исследования, т.к. основаны на принципах пробоотбора (в данном случае оказывается влияние на среду исследования). Наличие различных факторов, влияющих на результаты измерений (температура, влажность и др.), затрудняет создание пылемеров с требуемыми показателями точности и быстродействия, поэтому необходимо провести выбор и обоснование метода контроля концентрации пыли в угольных шахтах.

Постановка задач исследования. Целью работы является выбор и обоснование метода измерения концентрации пыли в угольных шахтах, который позволит создать математическую модель измерения концентрации пыли, которая будет учитывать влияние дестабилизирующих факторов (температура, влажность и др.).

Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

1. проанализировать существующие методы контроля концентрации пыли в угольных шахтах с точки зрения быстродействия системы и точности полученных результатов измерений.
2. Обосновать выбор метода.
3. Предложить вариант структурной схемы измерительного канала концентрации пыли, поставить требования в величине погрешности измерений и диапазону измерения концентрации пыли.

Результаты разработки и исследований. Одним из основных параметров пылевоздушной среды шахт, требующих постоянного контроля является концентрация угольной пыли, которая влияет на взрывобезопасность.

Согласно результатам испытаний в лабораториях МакНИИ и ВостНИИ [1] для максимально взрывчатой угольной пыли (выход летучих $V^{daf} \geq 35\%$, зольность $A^s < 5\%$, содержание влаги $\varphi \leq 1,5\%$) нижний концентрационный предел взрываемости равен $\delta = 10 \text{ г/м}^3$ [2]. Но если концентрация метана в выработке равна $C_{CH_4} = 1\%$, то предел снижается в два раза, при 2% – в четыре раза. Следовательно, при наличии в выработке метана угольная пыль может взорваться при концентрации от 4 до 5 г/м^3 в процессе выполнения проходческого цикла, следовательно, диапазон измерений концентрации пыли C_{II} разрабатываемого измерителя должен составлять от 0 до 3 г/м^3 .

В настоящее время в основном применяется две системы выражения результатов запыленности рудничного воздуха и промышленных помещений: весовая и счетная [3]

- 1) Весовые (гравиметрические), выражают запыленность воздуха в весовых единицах – миллиграммах распыленного вещества в 1 м^3 воздуха (мг/м^3)
- 2) Счетные (кониметрические), характеризуют запыленность числом пылевых частиц в единице объема воздуха. (Обычно в 1 см^3)

Весовой метод является в настоящее время основным и единственно обоснованным в санитарном отношении.

Существуют следующие наиболее распространенные методы контроля запыленности воздуха (концентрации пыли) в рудничной атмосфере:

Гравиметрический (весовой) метод, основанный на наборе проб пыли, определении ее массы и регистрации результатов измерений на месте или на расстоянии, характеризуется относительно большими габаритами аппаратуры и низкой эксплуатационной надежностью. Применить этот метод при создании измерителя концентрации пыли для шахтных условий, без участия человека, не представляется возможным.

Электрические методы (электроиндукционные, электроконтактные и др.) основаны на измерении заряда потока пылевых частиц или на измерении числа заряженных частиц. Первичный электрический сигнал в общем случае пропорционален суммарной поверхности пылевых частиц и не является мерой их массы. Поэтому изменение дисперсного состава пыли может быть причиной погрешности измерений. В значительной мере на результат измерений влияет вещественный состав и электрические свойства пыли. Такие приборы тарируются обычно для определенного вида пыли, наиболее правильным считается тарировать их на месте монтажа.

При использовании этих методов в условиях шахт наиболее принципиальным недостатком является чувствительность их к влажности воздуха. Это определяется не только изменением электрических свойств пыли, но и нарушением работы датчиков, поскольку чувствительный элемент его, воспринимающий малые электрические сигналы, теряет работоспособность при относительной влажности воздуха более 80%. Устройства, построенные по данному методу, являются крупногабаритными и потребляют большое количество электроэнергии.

Радиометрический метод основан на определении доли бета-излучения, поглощенного препаратом пыли, выделенной на подложку. Результат измерения этим методом практически не зависит от состава пыли и определяется лишь ее массой. Необходимость предварительного выделения пыли, например, путем протяжки запыленного воздуха через фильтр определяет возможность лишь периодических измерений с осреднением за время набора проб данных и получением результата через несколько минут после начала набора.

Датчики пылеизмерительных приборов, основанные на радиометрическом методе, относительно сложны. Они имеют движущиеся элементы (побудитель расхода воздуха, механизм протяжки ленты), сложные электрические схемы усилителей и преобразователей первичного сигнала. Такие приборы дорогостоящи. Применение рассмотренных датчиков в аппаратуре контроля запыленности воздуха может быть оправдано только хорошими метрологическими показателями.

Оптические методы основаны на определении доли поглощенного или рассеянного света пылевым облаком или препаратом пыли, выделенной на подложку. Результат измерений этими методами, выраженный в гравиметрических единицах концентрации, зависит от дисперсности пыли, поскольку оптические параметры ее определяются, в первую очередь, удельной площадью поверхности. Кроме того, на результат измерений влияет плотность пыли и ее отражательная способность. Однако в определенных условиях влияние этих факторов может быть в значительной степени уменьшено. Например, при измерении концентрации пыли вблизи источников пылевыведения в подземных выработках угольных шахт колебания дисперсного состава пыли могут давать погрешность измерения всей массы пыли $\pm 34\%$, а тонкодисперсной пыли $\pm 11\%$; в этих же условиях возможное изменение вещественного состава пыли (колебание зольности от 6 до 40%) вызывает погрешность не более $\pm 9,5\%$. Предварительное разделение пыли на фракции, позволяет снизить погрешность измерения, вызываемую в основном влиянием состава пыли, до 15%.

Если целью измерений является определение концентрации тонкодисперсной фракции, возможно повышение точности метода. Это достигается при использовании длинноволнового излучения (инфракрасный участок спектра), а также при оценке интенсивности рассеивания пылью светового потока под определенным углом. Если источник монохроматического света взять с длиной волны около 940нм и регистрировать световой поток, рассеянный под

углом 70° , то это позволяет определять концентрацию тонкодисперсной пыли в условиях угольной шахты с погрешностью, не превышающей 10%. При этом не требуется выделения из общей массы пыли тонкодисперсной фракции. Определенным конструктивным недостатком датчиков, требующих предварительного разделения пыли на фракции или выделения пыли на фильтр, является необходимость в побудителе расхода воздуха, от стабильности работы которого в значительной мере зависит возможная точность измерения концентрации пыли. Наличие такого побудителя усложняет конструкцию датчика, снижает его надежность, увеличивает потребляемую мощность.

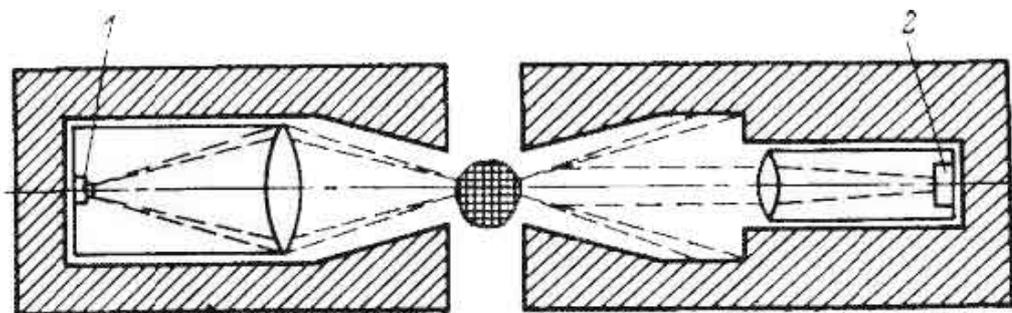


Рисунок 1 - Схема датчика пылемера
1 - источник света; 2 - приемник света

К оптическим методам относят также *Турбидиметрический метод*, который применяется для анализа суспензий, эмульсий, различных взвесей и других мутных сред.

Интенсивность пучка света, проходящего через такую среду, уменьшается за счет рассеивания и поглощения света взвешенными частицами. [4]

Турбидиметрические методы основаны на измерении интенсивности света I_t прошедшего через анализируемую суспензию. При достаточном разбавлении интенсивность прошедшего света подчиняется уравнению:

$$\lg \frac{I_t}{I_0} = -k \cdot l \cdot C \quad (1)$$

где l — толщина слоя, а k иногда называют молярным коэффициентом мутности раствора (коэффициентом ослабления излучения), C — концентрация, I_0 — интенсивность падающего света.

Турбидиметрические методы основаны на наблюдении за ослаблением прошедшего через исследуемую среду зондирующего излучения, по характеристикам которого оценивается дисперсность и концентрация аэрозоля. В отличие от оптических методов, турбидиметрический метод использует 2 источника излучения (один в области видимого спектра, а другой либо в области ИК-излучения, либо с другой длиной волны).

Длины волн используемого излучения определяются исходя из параметра M_i

$$k = \frac{\pi D}{\lambda} > 30 \quad (2)$$

Основным достоинством турбидиметрических методов является их высокая чувствительность.

Настоящий анализ позволяет рекомендовать два вида датчиков для аппаратуры контроля запыленности воздуха:

1) радиометрический датчик, имеющий хорошие метрологические показатели, но сложный по устройству;

2) оптический датчик, (турбидиметрический метод) работающий в видимой и инфракрасной области спектра без выделения пыли, отличающийся высокой чувствительностью, относительной простотой. Недостаток данного метода — запыление смотровых стекол, который можно устранить с помощью обдува и других способов.

Система, основанная на данном методе, будет обладать высокой точностью и позволит регистрировать частицы диаметром от десятков нанометров, также будет обладать высокой скоростью измерений и не потребует человеческого вмешательства, т.е. будет полностью автоматизирована.

Чувствительный элемент датчика вырабатывает первичный сигнал, величина которого недостаточна, а форма не всегда позволяет передавать его без искажения на сколько-нибудь значительное расстояние. Поэтому необходимой частью датчика является первичный преобразователь сигнала, который в наиболее простом случае (например, при оптическом методе измерения с непрерывным первичным сигналом) производит усиление сигнала. В ряде случаев необходимо производить также преобразование сигнала по относительно сложной программе.

На основе анализа выбранного метода была предложена следующая схема измерительного канала концентрации пыли (рисунок 2).

Структурная схема содержит источник излучения 1 (в нашем случае это светоизлучающий диод), далее поток света проходит через оптический канал (2), где свет в зависимости от концентрации пыли C_p , ее дисперсности D расстояния между источником и приемником излучения. Затем рассеянный поток попадает в окно приемника излучения (3) и передается в аналоговый блок, где происходит предварительное усиление и нормирование сигнала. После аналогового блока сигнал попадает в цифровой блок, где оцифровывается при помощи АЦП и обрабатывается средствами микроконтроллера.

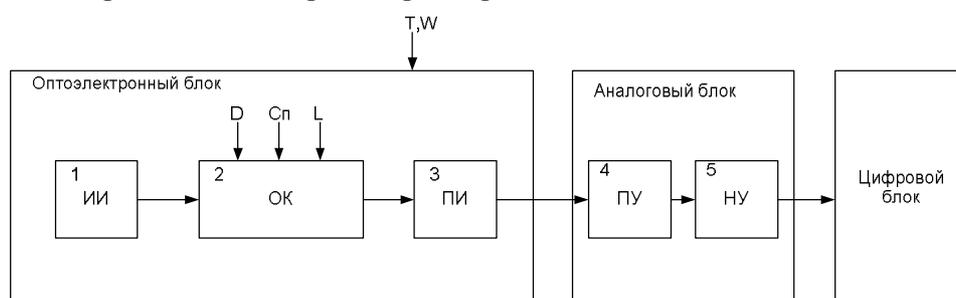


Рисунок 2 – структурная схема электронной системы контроля запыленности в угольных шахтах. 1- Источник излучения; 2 – оптический канал; 3 – приемник излучения; 4 – предварительный усилитель; 5 – нормирующий усилитель.

Выводы

1. Были проанализированы методы контроля концентрации пыли в угольных шахтах, в результате чего был выбран и обоснован турбидиметрический метод, т.к. он позволяет определять концентрацию пыли с высокой точностью, высоким быстродействием и без участия человека, а также позволяет дополнительно определить дисперсность пылевой среды. Данный метод позволит создать математическую модель, которая будет учитывать влияние дестабилизирующих факторов (температура, влажность и др.)
2. Был обоснован выбор турбидиметрического метода.
3. Была предложена структурная схема, учитывающая особенности выбранного турбидиметрического метода.

Перечень ссылок

1. Архипов В.А., Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность: Учебное пособие./ Архипов В.А., Шереметьева У.М.// Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2007. – 136 с.
2. Сенкевич О.В. Физико-химические методы анализа рудничного воздуха / О.В. Синкевич, Н.В. Долецкая, В.Ф. Курченко// М.: Углетехиздат. 1957 – 425 с.
3. Петунин П.М., Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Петунин П.М., Гродель Г.С., Жилиев Н.И. и др. // М.: Недра-2-е изд., перераб. и доп., 1981. – 271 с.
4. Шевцов Н.Р. Взрывозащита горных выработок (курс лекций): Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 280 с.