

Адаптация упрощенной спектрально-тембровой оценки концентраций пыли при производстве строительных материалов

В.А. Лепихова¹, Н.В. Ляшенко¹, А.Г. Ляшенко², А.Ю. Рябоус³

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск

²ООО "ПИК-Модуль", г. Москва, Россия

³Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), Санкт-Петербург

Аннотация: Рассмотрена проблема контроля концентрации пылевого потока в воздуховодах предприятий. Предложена спектрально-тембровая методология оценки концентрации пыли на основе анализа сигналов акустической эмиссии. Проведено два этапа адаптации на стендовой модели и в производственных условиях. В процессе адаптации использован пьезокерамический датчик акустический сигнал, от которого через предварительный усилитель поступает на регистрирующий прибор потенциометр с круговой суточной диаграммой.

Ключевые слова: строительные материалы, концентрация пыли, пылемерная аппаратура, акустическая методология, сигналы акустической эмиссии, спектр Фурье.

Проблема обеспечения нормативных параметров воздушной среды по пылевому фактору является одной из наиболее сложных при решении вопросов охраны труда работников на промышленных предприятиях по производству строительных материалов. В настоящее время разработано большое количество методов и технических средств по снижению запыленности воздуха на рабочих местах и в производственных помещениях, обеспечивающих не превышение предельно допустимых концентраций (ПДК) и исключая образование взрывоопасной концентрации пыли [1,2]. Однако, по различным причинам эффективность работы этих технических средств в процессе эксплуатации может быть снижена до пределов ниже допустимых, в результате чего запыленность воздуха на рабочих местах может превысить ПДК в десятки и сотни раз и может образоваться взрывоопасная концентрация пыли [3]. Непрерывный контроль за работой очистных аппаратов и концентрацией пыли в воздуховодах на предприятиях строительных материалов в настоящее время не ведется в связи с отсутствием соответствующих методов.

Этот пробел в существенной мере может быть восполнен применением спектрально-тембровой акустической методологии контроля и дифференциальной диагностики концентрации пыли, в основу которой положена новая для теории пылеметрии идея измерения концентрации пыли по сигналам акустической эмиссии [4], разложенным на подспектры основных и тембровых гармоник Фурье.

Адаптация упрощенной спектрально-тембровой оценки концентраций пыли к конкретным производственным условиям осуществляется в два этапа:

1. Градуировка шкалы пылеметрической аппаратуры на стендовой лабораторной модели (рис. 1).
2. Адаптация (привязка) пылемерной аппаратуры к конкретным производственным условиям.

Первый этап выполняется на стендовой модели следующим образом. Вторичный измерительный и регистрирующий прибор круговой суточный потенциометр (КСП) подсоединяется к пьезокерамическому датчику стенда через предварительный усилитель. Пропуская в контуре циркуляции стенда чистый воздух, устанавливают стрелку прибора на нулевую отметку органом сдвига шкалы потенциометра. Через дозатор в петлю циркуляции стенда объёмом (V) вносится навеска пыли ($m_{\max}^{\text{треб}}$), соответствующая требуемой максимально регистрируемой концентрации:

$$m_{\max}^{\text{треб}} = C_{\max}^{\text{треб}} \cdot V .$$

Записываются показания пылемера, а органом регулировки масштаба шкалы прибора стрелка устанавливается на верхнюю отметку шкалы. После этого петля циркуляции стенда освобождается от пыли путем продувки и продолжают процесс градуировки. На рисунке 1 представлено схематичное изображение описанного стенда, где 1-3 – блок замкнутой петли циркуляции стенда, 4 – весовой контроль, 5 – блок спектроанализатора, 6-7 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с программной системой, 8 – КСП.

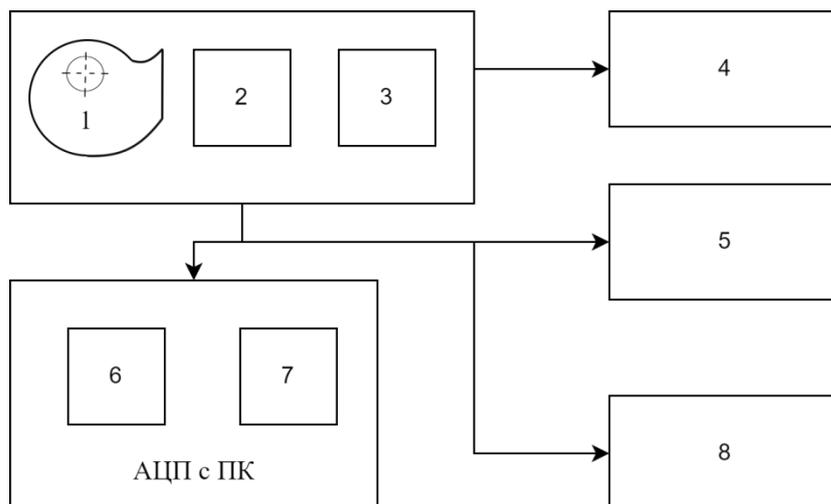


Рис. 1. – Блок-схема лабораторного стенда с замкнутой петлей циркуляции

Этот процесс повторяют до тех пор, пока начало и конец шкалы прибора не будут с допустимой погрешностью установлены на нужные деления. Затем проверяется показание прибора в промежуточных точках шкалы и добиваются наилучшего совпадения показаний. Шкала прибора должна быть близка к линейной. Измерение мгновенной концентрации пыли в потоке производится по формуле:

$$C = a_d \cdot m_d ,$$

где a_d – отсчет амплитуды сигнала по шкале пылемера в делениях; m_d – цена деления пылемера (масштаб шкалы диаграммы) в $(\text{мг}/\text{м}^3)/\text{дел}$.

По этой же формуле экспериментально определяется фактическая цена деления пылемера при тарировке по эталонному весовому методу, $(\text{мг}/\text{м}^3)/\text{дел}$:

$$m_d^{\phi} = \frac{C_e}{a_d} .$$

При проверке и укладке шкал пылемера в лабораторных условиях тарировку шкалы можно выполнить двумя методами:

1. Теоретическим, при котором концентрации задаются выбором навески пыли $C = \frac{m}{V}$, где m – введенная навеска кварцевой пыли,

взвешенной на аналитических весах в мг; V – объем петли циркуляции стенда в м³.

2. Экспериментальным методом, когда концентрация C определяется по весовому методу, при этом $m_d^{\phi} = \frac{C_{\phi}}{a_d}$.

При тарировке в производственных условиях возможен только второй способ, так как экспериментатор не может установить по своему желанию концентрацию пылевой пробы.

Второй этап – адаптация (привязка) – выполняется на производственном воздуховоде с укрепленными в представительных точках воздуховода датчиками. С помощью эталонного весового метода осуществляется замер фактической концентрации пыли и одновременно записываются показания адаптируемого прибора-пылемера. Путем регулировки коэффициента усиления и частотной полосы пропускания предварительного усилителя [5,6], стрелочный указатель прибора устанавливается на концентрацию, найденную весовым методом. Замеры концентрации пыли весовым методом повторяются с параллельным уточнением показаний тарируемого пылемера путем его подстройки до достижения допустимого отклонения от измеренного весовым методом.

Определение концентрации с целью адаптации пылемера к конкретным производственным условиям производилось с учетом редуционного коэффициента [7], вводящего поправку на отклонение барометрического давления и температуры от стандартных 760 мм рт. ст. и 273°К.

Редуционный коэффициент:

$$K_p = \frac{V_0}{V} = \frac{273e}{(273+t) \cdot 760},$$

где V_0 – объем воздуха, прошедшего через фильтр, приведенный к стандартным условиям; V – измеренный объем воздуха при адаптационном

замере концентрации эталонным весовым методом; e – барометрическое давление, мм рт. ст.; t – температура воздуха в процессе адаптации пылемера, °С; m_d – цена деления пылемера $m_d^{\phi} = \frac{C_{\phi}}{a_d}$, (мг/м³)/дел.

Замер фактической концентрации весовым методом и разброс показаний по шкале пылемера осуществлялся в опытах продолжительностью 15-20 мин. каждый.

В ходе множества экспериментов подтверждена возможность воспроизвести заданную концентрацию пыли. Однако стоит обратить внимание на тот факт, что результаты производственной тарировки ограничены точностью весового метода.

Таким образом, диагностическая инфокоммуникационная система, легко адаптируемая для большинства производственных процессов, будет состоять из следующих частей – сама программная система, аналого-цифровой преобразователь на входе и дешифратор управляющих сигналов на выходе.

Вышеописанные вычисления, разумеется, будут производиться программно, в рамках работы управляющей части системы. Это не представляет большой сложности, поскольку современные языки программирования имеют возможности работать с описанными математическими операциями за счёт подключения специальных библиотек.

Это означает, что программная часть диагностической системы может быть реализована на большинстве языков программирования, в зависимости от нужд и пожеланий заказчика [8]. Также необходимо уделить внимание качественно спроектированному пользовательскому интерфейсу, ведь его цель не только визуализировать полученные после обработки результаты, но и облегчить работу конечному пользователю. Программное обеспечение будет выполнено в форме оконного приложения операционной системы

Windows.

Исходя из вышеизложенного, можно резюмировать, что диагностическая оценка концентрации пыли осуществляется спектрально-тембровым методом по анализу сигналов акустической эмиссии [9,10]. Адаптация метода осуществляется в два этапа на стендовой модели под контролем весового метода и связанных между собой блоков, таких, как блок спектроанализатора для визуализации полученного пылевого спектра, блок АЦП с программным управлением и блок потенциометра КСП с круговой суточной диаграммой по определению концентрации пыли.

При адаптации метода в производственных условиях и, в соответствии с требованиями контроля по определению концентрации пыли, возможен выбор по использованию одного из предложенных блоков или же их комплекс. Так, по производственным требованиям возможно использование упрощенной спектрально-тембровой оценки концентраций пыли к конкретным производственным условиям, с применением потенциометра КСП для получения суточной диаграммы концентрации запыленности.

Спектрально-тембровая методика в лабораторных условиях показала себя, как точное и надежное средство контроля концентрации пыли в газовых потоках при производстве строительных материалов.

Литература

1. Кудряшов В.В., Кобылкин А.С. Анализ методов измерения запыленности шахтной атмосферы // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №10-1. С. 29-44.
2. Экба С.И., Сидякин П.А., Алехина И.С., Вахилевич Н.В. Оценка запыленности воздуха на рабочих местах при производстве строительных конструкций из древесины прочности // Инженерный вестник Дона, 2015, №1-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2773.

3. Бобров А.И., Кашуба О.И., Фридман И.С., Иванькова А.Г. Непрерывный контроль пылевой обстановки и выбросоопасности при механизированной проходке выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. №1. С. 129-131.

4. Nasir V., Cool J., Sassani F. Acoustic emission monitoring of sawing process: artificial intelligence approach for optimal sensory feature selection // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. №102 (9-12). URL: link.springer.com/article/10.1007/s00170-019-03526-3.

5. Gubaidullin D.A., Nikiforov A.A., Utkina E.A. Acoustic waves in two-fraction mixtures of gas with vapor, droplets and solid particles of different materials and sizes in the presence of phase transitions // Fluid Dynamics. 2011. №46 (1). URL: link.springer.com/article/10.1134/S001546281101008X.

6. Осташев В.Е. Распространение звука в движущихся средах. М.: Наука, 1992. 208с.

7. Бобков В.П., Грибанов Ю.И. Статистическое измерение в турбулентных потоках. М.: Энергоатомиздат, 1988. 168 с.

8. Бавыкин О.Б. Автоматизация метрологического обеспечения на стадии производства продукции // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3767.

9. Лепихова В.А. Ляшенко Н.В., Чибинев Н.Н., Рябоус А.Ю. Инструментальные средства и методы компьютерного мониторинга при переносе пылевых смесей // Безопасность жизнедеятельности. 2019. № 12. С. 47-52.

10. Лепихова В.А., Ляшенко Н.В., Чибинев Н.Н., Рябоус А.Ю. Система акустического мониторинга в промышленных и экологических технологиях // Безопасность труда в промышленности. 2021. № 3. С. 36-40.

References.



1. Kudrjashov V.V., Kobylkin A.S. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2021. №10-1. pp. 29-44.
2. Jekba S.I., Sidjakin P.A., Alehina I.S., Vahilevich N.V. Inzhenernyi vestnik Dona, 2015, №1-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2773.
3. Bobrov A.I., Kashuba O.I., Fridman I.S., Ivan'kova A.G. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'. 2000. №1. pp. 129-131.
4. Nasir V., Cool J., Sassani F. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2019. №102 (9-12). URL: link.springer.com/article/10.1007/s00170-019-03526-3.
5. Gubaidullin D.A., Nikiforov A.A., Utkina E.A. Fluid Dynamics, 2011. №46(1). URL: link.springer.com/article/10.1134/S001546281101008X.
6. Ostashev V.E. Rasprostraneniye zvuka v dvizhushchikhsya sredakh. [Sound propagation in moving media]. M.: Nauka, 1992. 208p.
7. Bobkov V.P., Gribanov YU.I. Statisticheskoye izmereniye v turbulentnykh potokakh. [Statistical measurement in turbulent flows]. M.: Energoatomizdat, 1988. 168p.
8. Bavykin O.B. Inzhenernyi vestnik Dona, 2016, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3767.
9. Lepikhova V.A. Lyashenko N.V., Chibinev N.N., Ryabous A.YU. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2019. № 12. pp. 47-52.
10. Lepikhova V.A., Lyashenko N.V., Chibinev N.N., Ryabous A.Yu. Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. 2021. № 3. pp. 36-40.