



УДК 621.373.826

Е.И. Веденин, В.С. Каунов, П.В. Чартий, В.Г. Шеманин,

*Новороссийский политехнический институт КубГТУ, Россия, Краснодарский край, 353900,
Новороссийск, ул. Карла Маркса, 20, E-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru*

ЛАЗЕРНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОТОКОВ

АННОТАЦИЯ

Эффективность контроля параметров аэрозольных потоков методами лазерного зондирования в реальном времени в значительной степени зависит от алгоритма измерительной процедуры и наличия достаточного объема априорной информации о параметрах потока.

Поэтому целью работы является создание лазерного сенсора для заданных значений параметров аэрозольных потоков с учетом их влияния на взаимодействие лазерного излучения с аэрозольными частицами.

Ранее нами было показано, что для ряда задач достаточной информацией о параметрах аэрозольного потока является концентрация и распределение частиц по размерам. Для контроля этих параметров в реальном времени предлагается использовать лазерный сенсор на основе метода спектральной прозрачности на нескольких длинах волн лазерного излучения. Например, излучение на двух длинах волн λ_1 и λ_2 создаётся двумя лазерами. Проходя сквозь поток аэрозольных частиц, ослабленное излучение регистрируется фотоприёмником. Электрический сигнал фотоприёмника, проходя через схему двойного синхронного детектирования, поступает на (аналогао-цифровой преобразователь) АЦП. Посредством АЦП электрический сигнал от фотоприёмника преобразуется в цифровой сигнал, который поступает на обработку в ПК, где и осуществляется расчёт массовой концентрации частиц C , среднего объемно-поверхностного диаметра частиц δ_{32} и восстановление функции распределения частиц по размерам. Одним из применений предлагаемого лазерного сенсора является лазерное зондирование таких потоков, в которых измеряется не только концентрация, но и изменения распределения частиц по размерам. Например, при очистке промышленных потоков от аэрозольных частиц различными пылеулавливающими установками возникают их отказы, приводящие к изменению распределения частиц по размерам и повышению концентрации частиц на выходе установки. Использование такого сенсора позволяет обнаруживать на ранних стадиях процесс возникновения отказов и тем самым предотвращать сверхнормативные выбросы в атмосферу.

Таким образом, предложенный лазерный сенсор позволяет решать задачу контроля концентрации и распределения частиц по размерам в аэрозольном потоке методом спектральной прозрачности на двух длинах волн лазерного излучения в реальном времени.

**ЛАЗЕРНЫЙ СЕНСОР, АЭРОЗОЛЬНЫЕ ПОТОКИ, ЛАЗЕРНОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ,
МЕТОД СПЕКТРАЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТИ**

ВВЕДЕНИЕ

Аэрозольные потоки широко распространены в технологических процессах промышленного производства и представляют собой поток отходящих газов с аэрозольными частицами. Загрязнение атмосферы аэрозольными частицами наносит серьёзный ущерб окружающей среде и здоровью человека. Для обеспыливания выбрасываемых в атмосферу отходящих газов применяется пылегазоочистное оборудование (ПГО), которое предотвращает загрязнение атмосферного воздуха и потерю производимого сырья. Концентрация аэрозольных частиц на выходе ПГО должна быть такой, чтобы с учётом рассеивания в атмосфере не происходило превышение значения предельно допустимой концентрации (ПДК) на границе санитарно-защитной зоны. В процессе производства цемента с некоторой вероятностью возможен отказ ПГО, при котором на выходе происходят сверхнормативные выбросы аэрозольных частиц в атмосферный воздух. Это может привести к значительному загрязнению окружающей среды и потере производимого сырья.

В реальном производстве для обнаружения сверхнормативного выброса аэрозольных частиц на выходе ПГО производят отбор проб с последующим их анализом в лаборатории. Однако указанный метод не решает проблемы загрязнения окружающей среды и потери производимого сырья, так как отбор проб осуществляется периодически, а их анализ занимает длительное время. Решение указанных проблем возможно путем непрерывного контроля параметров аэрозольных потоков в реальном времени. Такой контроль возможно осуществлять посредством лазерного сенсора.

ПАРАМЕТРЫ АЭРОЗОЛЬНЫХ ПОТОКОВ

Для решения задачи обнаружения сверхнормативных аэрозольных выбросов необходимо контролировать параметры отходящих газов — концентрацию аэрозольных частиц в отходящих газах C и функцию распределения аэрозольных частиц по размерам.

На первом этапе рассмотрим контроль концентрации аэрозольных частиц в отходящих газах. Возрастание уровня концентрации аэрозольных частиц на выходе и превышение значения ПДК является основным критерием отказа ПГО и сверхнормативного выброса. Однако, помимо отказа ПГО концентрация аэрозольных частиц на выходе может значительно возрастать за счёт неравномерной подачи сырья на источник выбросов (например, в цементную мельницу). Кроме того, согласно [1] при использовании в качестве второй ступени очистки электрофилтра концентрация частиц может возрастать вплоть до значений ПДК во время регенерации. Отсюда следует, что возрастание концентрации на выходе не может служить однозначным критерием выброса вследствие отказа системы ПГО.

Вторым критерием возникновения выброса является изменение функции распределения аэрозольных частиц по размеру. Как правило, сверхнормативные выбросы происходят из-за отказа второй ступени очистки. Функция распределения частиц по размеру при исправной работе второй ступени на выходе характеризуется максимумом значения функции, которое соответствует частицам диаметром менее 1 мкм. При отказе в системе ПГО функция распределения частиц по размеру на выходе трансформируется за счет проникновения входного аэрозоля. Эта трансформация функции распределения частиц по размеру на входе и выходе ПГО в исправном состоянии и в зависимости от степени отказа k на примере рукавного фильтра представлена как результат компьютерного моделирования на рис. 1. Таким образом, изменение функции распределения частиц по размеру позволяет точно определять сверхнормативные выбросы в случае отказа второй ступени ПГО.

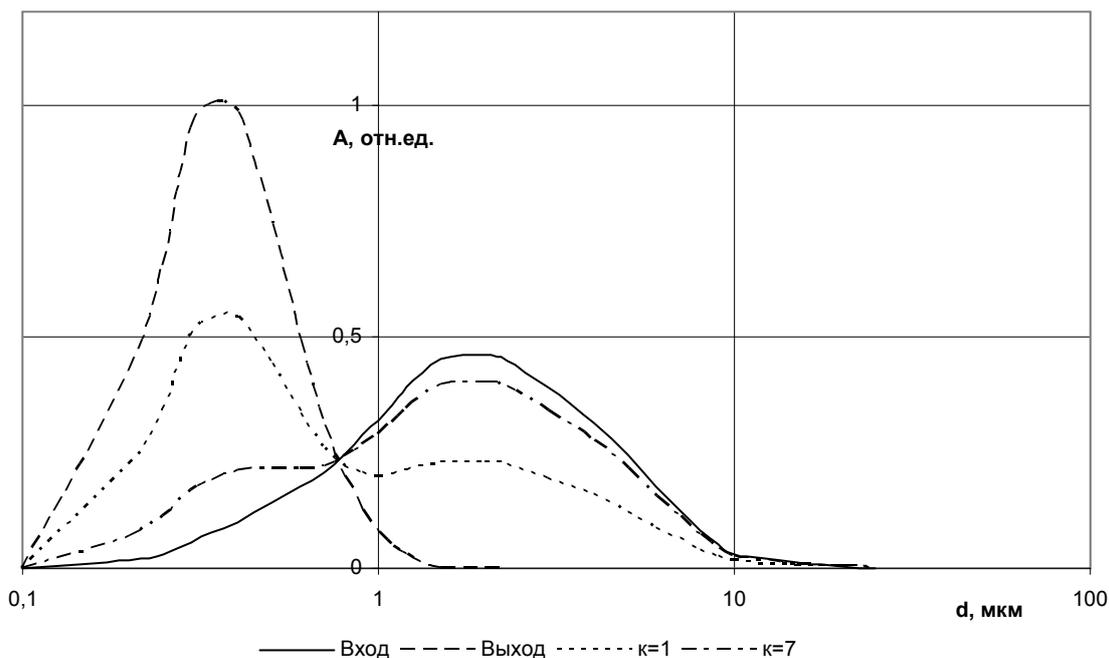


Рис.1. Функция распределения частиц по размеру на входе и выходе рукавного фильтра в исправном состоянии и в зависимости от степени отказа k

УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО СЕНСОРА

Для повышения вероятности обнаружения аэрозольных выбросов и возможности выявления выбросов на ранних стадиях их формирования разрабатываемый лазерный сенсор должен контролировать уровень концентрации и функцию распределения частиц по размеру одновременно. Такой контроль можно осуществить посредством двухволнового лазерного зондирования на основе метода спектральной прозрачности или методом интегрального рассеяния света. Более просты в технической реализации сенсоры на основе метода спектральной прозрачности [2].

Разрабатываемый лазерный сенсор располагается непосредственно в газоходе. Контроль параметров аэрозольных частиц непосредственно в газоходе более предпочтителен, чем дистанционный, так как в этом случае появляется возможность предотвращать выброс до их поступления в атмосферу.

Структурная схема лазерного сенсора представлена на рис. 2.

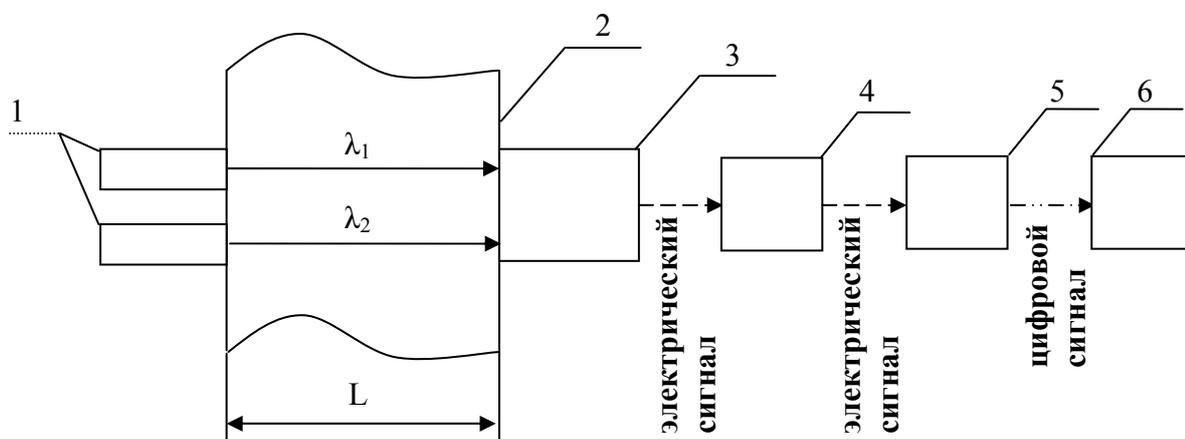


Рис. 2. Система лазерного зондирования на основе метода спектральной прозрачности.

1 — лазеры, 2 — газоход, 3 — фотоприемник, 4 — схема двойного синхронного детектирования, 5 — АЦП, 6 — ПК

Два лазера I генерируют импульсы излучения интенсивностью I_{01} и I_{02} на длине волн λ_1 и λ_2 . Каждый лазерный луч, проходя сквозь газопоток 2 с потоком отходящих газов с определённым содержанием взвешенных частиц, ослабляется в результате частичного рассеяния и поглощения его частицами аэрозоля. Интенсивность излучения снижается до некоторых значений I_1 и I_2 , которые регистрируются фотоприёмником 3 . Для подавления шумов и помех и исключения влияния сигналов друг на друга применены двойная импульсная модуляция излучения лазеров и соответствующее двойное синхронное детектирование 4 , которые подробно рассмотрены в [3]. Оба лазера работают в импульсном режиме независимо друг от друга, причем генерация лазерного излучения осуществляется периодическими «пачками» импульсов, что и представляет собой двойная импульсная модуляция. Сигнал на выходе фотоприемника имеет такую же периодичность следования, что позволяет осуществить синхронное детектирование. Этот сигнал преобразуется в АЦП 5 в цифровой сигнал и поступает на обработку в ПК 6 , где осуществляется расчёт массовой концентрации частиц C , среднего объёмно-поверхностного диаметра частиц δ_{32} и восстановление функции распределения частиц по размерам. Вся измерительная процедура может быть описана согласно [4] и [2] уравнением:

$$\frac{D_1}{D_2} = \ln \frac{I_{01}I_2}{I_1I_{02}} = \ln \frac{U_{\text{вых}2}U_{\text{оп}1}}{U_{\text{вых}1}U_{\text{оп}2}} = \frac{Q(\delta_{32}, \lambda_1, n)}{Q(\delta_{32}, \lambda_2, n)} = F_{12}(\delta_{32}),$$

в котором D_1/D_2 отношение оптической плотности аэрозольного потока на длине волн λ_1 и λ_2 лазерного излучения есть функция среднего объёмно-поверхностного диаметра частиц δ_{32} .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, предложенный лазерный сенсор позволяет решать задачу контроля концентрации и распределения частиц по размерам в аэрозольном потоке методом спектральной прозрачности на двух длинах волн лазерного излучения в реальном времени. Благодаря чему возможно обнаружение сверхнормативных аэрозольных выбросов и предупреждение их поступления в атмосферу.

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ

λ – длина волны, нм;

δ_{32} – средний объёмно-поверхностный диаметр частиц, мкм;

C – концентрация частиц, мг/м³;

I – интенсивность излучения, Вт/м²;

D – оптическая плотность;

U – напряжение на выходе фотоприемника;

Q – фактор эффективности ослабления для одиночных частиц;

n – показатель преломления вещества аэрозольного материала;

F – функция среднего объёмно-поверхностного диаметра частиц.

Индексы:

вых. – выходной;

оп. – опорный.

Работа выполнена при поддержке базовой части Госзадания Министерства образования и науки РФ (проект № 2284).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rybalko A.N., Charty P.V., Shemanin V.G. Dust concentration measurement laser instrument at industrial conditions // Proceeding of SPIE. 2000. Vol. 4316. P. 130–136.
2. Шеманин В. Г., Васильев А.О., Чартий П.В. Мониторинг выбросов углеводородов при хранении и транспортировке нефти и нефтепродуктов // Безопасность в техносфере. 2011. № 5. С. 3–7.
3. Privalov V.E., Rybalko A.V., Chartij P.V., Shemanin V.G. Effect of noise and vibration on the performance of a particle concentration laser meter and optimization of its parameters // J. Technical Physics. 2007. Vol.77, No 3. P. 62–65.
4. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С., Ворожцов Б.И., Павленко А.А., Потапов М.Г. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей/ Оптика атмосферы и океана. 2007. Т. 20, № 1. С. 48–52.

Vedenin E.I., Kaunov V.S., Charty P.V., Shemanin V.G.,

*Novorossiysk polytechnic institute KubSTU, Russia, Krasnodar region, Novorossiysk, 353900, 20
Karl Marx St., E-mail: vshemanin@nbkstu. org.ru*

LASER SENSOR FOR THE AEROSOL FLOWS PARAMETERS CONTROLLING

The efficiency of the aerosol flows parameters controlling by the laser probing in real time largely depends on the algorithm of the measuring procedure and the presence of a sufficient amount of a priori information about flows parameters.

Therefore, this work goal is the creation of the laser sensor for given values of the aerosol flows parameters with regard to their influence on the interaction of laser radiation with aerosol particles.

It has been shown previously that for a number of tasks sufficient information about of the aerosol flows parameters are the concentration value and the particles size distribution. The laser sensor using based on the spectral transmittance at several laser radiation wavelengths method has been suggested to control these parameters in the real time. For example, the radiation at two wavelengths λ_1 and λ_2 produced by two lasers were passed through the aerosol particles flow and the attenuated radiation were detected by the photo detectors. The photo detector output electric signal passing through the double synchronous detection was sent to ADC (analog-to-digital converter). This digital signal was sent to the PC processing where the particles mass concentration C , the particles average volume-surface diameter δ_{32} value and the particles size distribution function calculation can be realized. A possible application of the proposed laser sensor is such a flows laser probing, in which not only concentration, but also changes in the particles size distribution function were calculated.

The different dust cleaning units failures have been appeared when the industrial flow was cleaned from the aerosol particles and it leads to change the particles size distribution and particle concentration increasing at the unit outlet. Such a sensor using can detect failure appearance process at the early stages and can prevent the excess emissions into the atmosphere by that way.

So the suggested laser sensor allows controlling the aerosol flow concentration and the particles size distribution by the spectral transmittance at two laser radiation wavelengths method in the real time.

LASER SENSOR, LASER FLOWS, LASER PROBING, THE METHOD OF SPECTRAL TRANSMITTANCE