

ЛАЗЕРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В ГАЗОВЫХ ПОТОКАХ

Гришанов А.В., Гришанов В.Н., Мордасов В.И., Сазонникова Н.А.
Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Значительное влияние на чистоту атмосферы оказывают транспорт, тепловые электростанции, металлургические и химические предприятия, производство строительных материалов, выбрасывающие из своих труб различные вредные вещества. Загрязнение среды обитания человека настолько велико, что вопросы экологии заняли доминирующее место в структуре глобальных проблем современности. Исследованиями показано, что сажевое загрязнение атмосферы крупных населенных пунктов во все сезоны года обусловлено местными источниками, т.е. преобладают факторы антропогенного происхождения, к которым относится и тенденция перехода на дизельные двигатели, использующие тяжелые топлива, без соответствующей оптимизации режимов его сжигания. Более того, нарушение процессов смесеобразования пропано-воздушных компонент газообразных топлив также приводит к обильному сажеобразованию [1].

Наиболее эффективна борьба за снижение вредных выбросов непосредственно на потенциальных источниках загрязнений, т.е. теплоэнергетических установках различного назначения. Для анализа отходящих многофазных потоков предпочтение отдается приборам, которые могут быть установлены непосредственно в газоходе без применения средств отбора и очистки газов, т.е. основанных на прямом облучении газового потока. Наибольший интерес здесь представляют лазерные дистанционные методы анализа в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Методы лазерного зондирования основаны на свойстве частиц поглощать или рассеивать лазерное излучение, причем при постоянстве дисперсного состава частиц оптическая плотность слоя многофазного потока D , пронизываемого пучком, прямо пропорциональна их концентрации [2].

Развитие электроники, квантовой оптики и информатики, удешевление полупроводниковой элементной базы способны обеспечить разработку и создание конкурентоспособных лазерных приборов и систем экологического назначения, надежно работающих непосредственно в составе теплоэнергетических установок и простых в обслуживании.

Двухлучевые оптико-электронные измерители концентрации частиц в газовом потоке, содержащие блоки излучателя и фотоприемника, нечувствительны к флуктуациям интенсивности источника света [3]. Однако в известных конструкциях изменения светового потока, вызванные

загрязнением оптических поверхностей присутствующими в контролируемом потоке частицами, искажают концентрационный отклик измерителей, завышая тем самым показания приборов. Предложенные устройства электростатической очистки, загрязняющихся осаждающимися частицами оптических поверхностей, усложняют конструкцию и, в принципе, также не исключают влияния загрязнений оптики на результаты измерений.

В данной статье предлагается следующая схема измерителя концентрации частиц в газовых потоках (рис. 1): пучок лазера 1 коллимируется линзой 2, часть светового потока источника излучения попадает на зеркало опорного канала 5 и, отразившись от него, падает на опорный фотоприемник 7. Остальное излучение проходит через дымоход и фокусируется линзой 9 на измерительном фотоприемнике 8. Сигналы от опорного и измерительного фотоприемников усиливаются линейными усилителями 10, 11, далее логарифмируются элементами 12, 13 и подаются на дифференциальный усилитель 15, с которым соединен регистратор 16. Компаратор 14 выдает сигнал на очистку выходного окна при его сильном загрязнении.

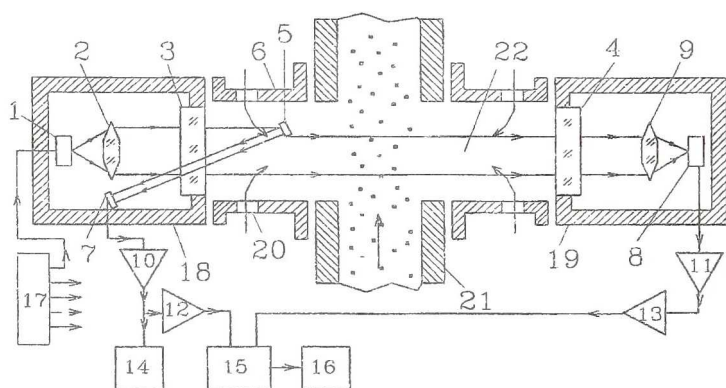


Рисунок 1 - Оптико-электронное устройство для измерения концентрации частиц: 1 - лазер; 2, 9 - линзы; 3 - защитное стекло; 5 - зеркало опорного канала; 6 - полый световод блока излучателя; 7 - опорный фотоприемник; 8 - измерительный фотоприемник; 10, 11 - линейные усилители; 12, 13 - логарифмические усилители; 14 - компаратор; 15 - дифференциальный усилитель; 16 - регистратор. 17 - источник электропитания; 18 - корпус блока излучателя; 19 - корпус блока приемника; 20 - устройство подачи защитного газа; 21 - стенки дымохода; 22 - отверстие.

Измеритель работает следующим образом. Блоки излучателя и приемника соосно располагаются на противоположных стенках дымохода, в которых предварительно вырезаются отверстия. В отсутствие дыма

путем регулировки коэффициентов усиления линейных усилителей устанавливают равенство сигналов подаваемых на вход дифференциального усилителя и, соответственно, нулевое значение оптической плотности или концентрации частиц на регистраторе 16. При загрязнении газового потока сажевыми частицами оптическое пропускание его уменьшится, в результате чего уменьшится выходной сигнал измерительного канала и, соответственно, регистратор покажет значение концентрации частиц в газовом потоке.

Благодаря вынесенному за защитное стекло отражателю и наличию опорного канала происходит не только компенсация флуктуаций интенсивности света источника, что свойственно всем двухлучевым схемам, но и загрязнений оптических элементов 3 и 4 сажей. Установка регулируемых усилителей 10, 11 перед логарифматорами 12 и 13 позволяет электронными методами выровнять чувствительность каналов, которая будет сохраняться при синхронных вариациях чувствительности фотоприемников, вызванных температурным дрейфом или процессами старения. Компаратор выдает сигнал предупреждения о недопустимом снижении интенсивности зондирующего пучка, который используется для очистки стекол 3, 4 либо для замены лазерного излучателя. На рис. 2 представлен общий вид образца устройства.

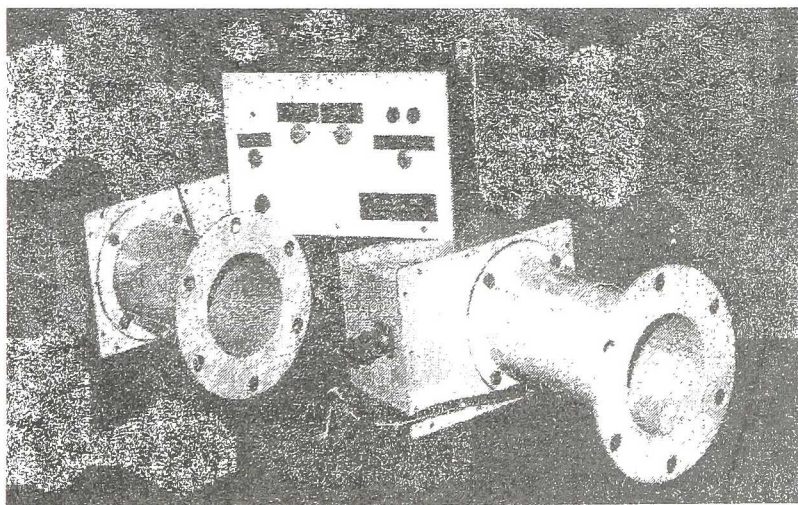


Рисунок 2 - Внешний вид лазерного измерителя.

Устройство защищено патентом РФ [4]. Напряжение питания измерителя – 220В с частотой 50 Гц. Габаритные размеры блоков излучателя и приемника – 140*300*160 мм, регистратора – 200*140*100 мм.

Приведем аналитическое доказательство факта долговременной компенсации влияния дестабилизирующих факторов загрязнения и синхронного дрейфа чувствительности фотоприемников в предлагаемом устройстве. Поскольку коллимирующий и фокусирующий элементы находятся внутри герметичных корпусов и выполняются чаще всего из стекла и металла, то стабильность их характеристик на порядки величин выше, чем электронных и фотоэлектронных компонент, отношение их коэффициентов пропусканий постоянно и не влияет на выводимые соотношения, на основании которых делаются заключения о возможности долговременной компенсации. Коэффициенты пропускания их приняты равными 1. В силу малой апертуры отражающего элемента, его близкого расположения к отверстию для подачи защитного газа и практически 180° ориентации его взаимодействующей со светом наружной грани относительно отверстия в дымоходе, его коэффициент отражения также считается неизменяющимся.

В первом приближении не учитываются шумовые, темновые и фоновые характеристики фотоприемников и усилителей, так как, в измерительных устройствах подобного типа интенсивность излучателя или максимальная измеряемая оптическая плотность выбираются с позиций многократного превышения сигнала над шумом.

С учетом приведенных допущений, сигнал на выходе логарифматора 13 измерительного канала будет описываться выражением:

$$U_1 = \ln(T \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot K_1 \cdot G_1 \cdot P_0), \quad (1)$$

где T , T_1 и T_2 - коэффициенты пропускания газосажевого потока, защитных окон 3 и 4 соответственно;

K_1 - коэффициент усиления усилителя 11;

G_1 - чувствительность измерительного фотоприемника 8;

P_{01} - интенсивность света источника 1, изучаемого в направлении измерительного фотоприемника. Сигнал на выходе логарифматора 12 опорного канала:

$$U_2 = \ln(T_1^2 \cdot R \cdot K_2 \cdot G_2 \cdot P_{02}), \quad (2)$$

где R - коэффициент отражения отражателя 5;

K_2 - коэффициент усиления усилителя 10;

G_2 - чувствительность опорного фотоприемника 7;

P_{02} - интенсивность света источника 1, излучаемого в направлении опорного фотоприемника.

Тогда сигнал на выходе вычитателя 15 примет вид:

$$U_3 = \ln T + \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \cdot \frac{G_1}{G_2} \cdot \frac{K_1}{K_2} \cdot \frac{P_{01}}{P_{02}} \cdot \frac{1}{R} \right), \quad (3)$$

Если при настройке устройства в отсутствии твердых частиц в газовом потоке, т.е. при пропускании $T = 1$, отрегулировать коэффициенты усиления K_1 и K_2 так, чтобы сигнал на выходе вычитателя принял нулевое значение (второе слагаемое в выражении (3)), то регистрируемый сигнал будет пропорционален $\ln T$, т.е. дымности, и эта пропорциональность бу-

дет сохраняться как при синхронном изменении (например, при изменении температуры или старении) их чувствительностей G_1 и G_2 , коэффициентов усиления линейных усилителей K_1 и K_2 , так и коэффициентов пропусканий T_1 и T_2 при осаждении сажи на защитных стеклах 3 и 4, что и подтверждает сделанное заключение о компенсации влияния загрязнений на регистрируемые устройством значения концентрации частиц.

При выборе лазера для блока излучателя учитывались требования безопасности для потребителя, удобство эксплуатации, низкая стоимость, стабильность характеристик, устойчивость к внешним воздействиям. Перечисленным критериям удовлетворяют полупроводниковые инжекционные лазеры видимого диапазона. Имея долговечность на уровне 50000 час., высокий КПД, они составляют конкуренцию лазерным излучателям других типов. В приборе использован лазерный диод с квантово-размерной структурой с активной областью на основе материалов четверных систем, характеризующихся большей стабильностью энергетических параметров по сравнению с другими типами полупроводниковых лазеров, RLD-650(5) со средней мощностью излучения 5 мВт на длине волны 650 нм. Большая инерционность теплоэнергетических установок позволяет использовать лазер в импульсно-периодическом режиме, при котором, во-первых, энергопотребление лазера значительно меньше, чем в непрерывном режиме, во-вторых, в тракте фотоприемника используются усилители переменного тока, у которых, в отличие от усилителей постоянного тока отсутствует дрейф нуля, и в-третьих, высокая скважность импульса дает возможность увеличения яркости излучения по сравнению со средней яркостью лазера. В данном измерителе длительность импульса 1 мс, частота следования 10 Гц.

Список литературы

1. Кружков В.Н., Бакиров Ф.Г., Альметов Ф.М., Лазунов Д.Л. Экспериментальное исследование процесса образования сажи при турбулентном горении.- Сб.: Научно-исследовательские разработки и высокие технологии двойного применения.- Ч.1. Самара: ГПСО "Импульс", 1995.- С.75-76.
2. Борен Х., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами.- М.: Мир, 1986.- 664 с.
3. Гохберг Ж.Л., Захаров М.С. Методы и приборы автоматического контроля выбросов ТЭС. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-144 с.
4. Гришанов В.Н., Мордасов В.И., Гришанов А.В., Крючков А.Н. Оптико-электронное устройство для измерения концентрации твердых частиц в дымовых газах. - Патент РФ N 2133462 С1, М.кл. 6 G 01 N 21/59. Бюл. 20.07.1999, N 20.