

Лазерная система предупреждения аэрозольных выбросов

Е.И. Веденин, аспирант

П.В. Чартий, доцент, канд. физ.-мат. наук

В.Г. Шеманин, зав. кафедрой, д-р физ.-мат. наук

Новороссийский политехнический институт (филиал) Кубанского государственного технологического университета

e-mail: vshemanin@nbkstu.org.ru

Ключевые слова:

лазерная система,
аэрозольные выбросы,
отказ,
концентрация,
функция распределения частиц
по размерам,
метод спектральной прозрачности,
время срабатывания.

Для повышения вероятности обнаружения аэрозольных выбросов и возможности выявления выбросов на ранних стадиях их формирования предлагаемая система одновременно контролирует концентрацию и функцию распределения частиц по размерам посредством двухволнового лазерного зондирования на основе метода спектральной прозрачности. Алгоритм работы системы таков, что время срабатывания системы не превышает 300 с. Лазерная система предупреждения сверхнормативных аэрозольных выбросов в атмосферу над промышленным объектом позволяет решить две важные задачи: предотвращение загрязнения окружающей среды и устранение потерь сырья в виде пылевых выбросов, уносимых в атмосферу.

1. Введение

Загрязнение атмосферы различными загрязняющими веществами наносит серьёзный ущерб окружающей среде и здоровью человека. Значительный вклад в загрязнение атмосферы вносят аэрозольные частицы, основным источником образования которых являются процессы механической активации в промышленном производстве. Примером такой технологии может быть производство цемента, в котором отходящие газы, смешиваясь с аэрозольными частицами, образуют пылегазовые потоки. Для обеспыливания выбрасываемых в атмосферу отходящих газов и аспирационного воздуха применяется пылегазоочистное оборудование (ПГО), которое предотвращает загрязнение атмосферного воздуха и потерю готового цемента. Концентрация аэрозольных частиц на выходе ПГО должна быть такой, чтобы с учётом рассеивания в атмосфере не происходило превышения 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 аэ-

розольных частиц в атмосферный воздух. Это может привести к значительному загрязнению окружающей среды и потере готового цемента.

2. Анализ методов контроля

В [1] выполнен подробный анализ методов контроля параметров аэрозольных потоков. Рассмотрим экспериментальную ситуацию с рукавным фильтром ФРИ-20 в качестве второй ступени системы ПГО цементной мельницы. По результатам инструментального контроля гидравлическое сопротивление исправного рукавного фильтра составляло 1290 Па, объёмный расход — 18 200 м³/ч. При прорыве фильтровального рукава резко возрастает скорость потока через образующееся отверстие, что приводит к увеличению объёмного расхода. Рассчитаем для рукавного фильтра ФРИ-20 увеличение объёмного расхода, связанного с прорывом одного рукава при площади образовавшегося отверстия около 20 см². Расход газов, прошедших через прорыв рукава, определяется по формуле $Q_{\text{прор.}} = w \cdot S_{\text{прор.}}$, где w — скорость истечения газов через прорыв, м/с, а $S_{\text{прор.}}$ — площадь прорыва, м². Коэффициент гидравлического сопротив-

ления при истечении газа через отверстие в стенке с неограниченной площадью определяется по приведенной в [2] формуле:

$$\xi = \Delta P / (\rho w^2 / 2), \quad (1)$$

где: ΔP — потеря полного давления, Па; ρ — плотность газа, кг/м³; w — скорость потока, м/с. По формуле (1) можно определить скорость потока. Потеря полного давления определяется как разность давлений воздушного потока на входе и выходе устройства. Для нашего экспериментального случая, когда давление на входе в рукавный фильтр, $P_{вх} = 1960$ Па и давление на выходе в рукавный фильтр, $P_{вых} = 370$ Па, потеря будет равна: $\Delta P = 1960 - 370 = 1740$ Па. Известно, что площадь прорыва $S_{прор.}$ значительно меньше площади фильтрования рукава $S_{ф.}$, поэтому рассмотрим случай истечения газа через отверстие в стенке с неограниченной площадью [2]. Коэффициент гидравлического сопротивления в данном случае составляет $\xi = 2,7 \div 2,8$ [2]. Примем $\xi = 2,7$. Плотность цементного аэрозоля равна $\rho_0 = (2,7-3,0) 10^3$ кг/м³. Определим плотность газов, находящихся при температуре $t = 92$ °С и под избыточным давлением (разрежением). На основании [3] она будет равна $\rho = 0,948$ кг/м³. Для этого случая скорость потока $w = 37$ м/с. Если площадь прорыва рукава равна $S_{прор.} = 20$ см² = 0,002 м², то $Q_{прор.} = 266,4$ м³/ч. Оценка относительного изменения объёмного расхода рукавного фильтра, связанное с прорывом одного рукава, дает $\Delta Q/Q = Q_{прор.}/Q = 0,0137 = 1,37\%$.

Современные микроманометры — типа прибора для измерения давления и скорости потока testo-512 [4] или DP-Calc Micromanometer Model 5825 [5] — позволяют измерять скорость потока и соответственно объёмный расход с погрешностью не менее 1–1,5%. Следовательно, зафиксировать возникновение прорыва рукава по увеличению объёмного расхода не представляется возможным.

Оценим увеличение уровня концентрации на выходе того же рукавного фильтра при прорыве рукава. В этом случае концентрация взвешенных частиц на выходе в случае отказа $C_{вых.от}$ второй ступени составит:

$$C_{вых.от} = \frac{Q_{прор.} \cdot C_{вх} + (Q_{вх} - Q_{прор.}) \cdot C_{вых}}{Q_{вх}}, \quad (2)$$

где: $C_{вх.}$ — концентрация взвешенных частиц на входе рукавного фильтра, г/м³, в нашем случае $C_{вх.} = 5,1099$ г/м³; $C_{вых.}$ — концентрация взвешенных частиц на выходе рукавного фильтра, г/м³; $Q_{прор.}$ — расход газов, прошедших через прорыв рукава, м³/ч и $Q_{вх.}$ — расход газов на входе в рукавный фильтр, $Q_{вх.} = 18\,200$ м³/ч. Концентрация взвешенных частиц на выходе определяется по

формуле $C_{вых.} = C_{вх.} \cdot (1 - \eta)$, где η — степень очистки рукавного фильтра. По экспериментальным данным для ФРИ-С-27-2 $\eta \approx 0,99$ и получим $C_{вых.} = 0,0511$ г/м³. Далее по формуле (2) рассчитаем концентрацию взвешенных частиц на выходе фильтра в случае отказа второй ступени и получим $C_{вых.от.} = 0,1252$ г/м³. Концентрация увеличилась более чем в 2 раза. Но изменение концентрации на выходе рукавного фильтра может происходить не только за счёт прорыва рукава, но и за счёт технологических изменений концентрации на входе. В [6] показано, что при прорыве рукава рукавного фильтра не только возрастает концентрация на его выходе, но и увеличивается средний размер частиц. Поэтому цель настоящей работы — создать лазерную систему предупреждения аэрозольных выбросов в атмосферу над промышленным объектом путём контроля не только концентрации на выходе рукавного фильтра, но и функции распределения частиц по размерам.

3. Методы решения

Для предупреждения аэрозольных выбросов при производстве цемента система должна решать две задачи: обнаруживать аварийные выбросы на выходе ПГО в реальном времени и предотвращать их поступление в атмосферу. Решение первой задачи возможно путём контроля параметров отходящих газов — концентрации аэрозольных частиц в отходящих газах C и функции 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. Измерение концентрации аэрозольных частиц на данный момент осуществляется с помощью стандартных средств измерения на основе гравиметрического метода [7]. Но этот метод позволяет производить только периодический отбор проб. Для предупреждения таких выбросов необходим непрерывный контроль концентрации аэрозольных частиц. Наиболее подходящие для этого системы лазерного зондирования, позволяющие измерять концентрацию либо дистанционно в какой-либо области пространства (лидарные системы [1], либо непосредственно в газоходе на выходе ПГО (лазерные системы на основе методов спектральной прозрачности [8] и интегрального рассеяния света [1]). Для нашего случая мониторинг концентрации аэрозольных частиц непосредственно в газоходе более предпочтителен, так как в этом случае появляется возможность предотвращать выброс до их поступления в атмосферу. Зондирование отходящих газов методом спектральной прозрачности либо методом ин-

тегрального рассеяния света на одной длине волны лазерного излучения позволяет измерять значение концентрации в реальном времени. Помимо отказа ПГО концентрация аэрозольных частиц может на выходе значительно возрастать за счёт неравномерной подачи сырья на источник выбросов (например, в цементную мельницу). Кроме того, согласно [9] 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.

4. Лазерный сенсор спектральной прозрачности

Для повышения вероятности обнаружения аэрозольных выбросов и возможности выявления выбросов на ранних стадиях их формирования разрабатываемая система должна 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 [10]. Структурная схема такого сенсора представлена на рис. 2. Два лазера 1 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

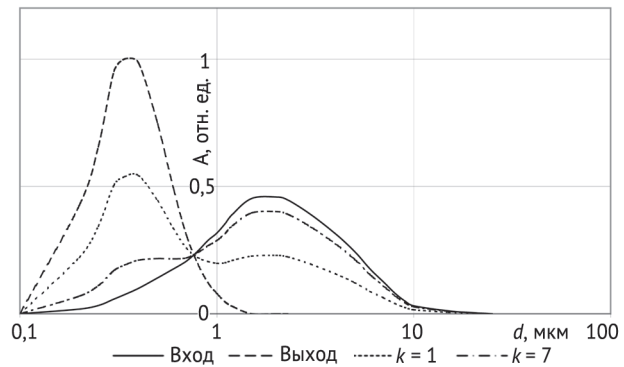


Рис. 1. Функция распределения частиц по размеру на входе и выходе рукавного фильтра в исправном состоянии и в зависимости от степени отказа k

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 [11]. 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 фотоприёмника имеет такую же периодичность следования, что позволяет осуществить синхронное детектирование. Этот сигнал преобразуется в АЦП 5 в цифровой 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 [8] и [10] уравнением:

$$\frac{D_1}{D_2} = \ln \frac{I_{01} I_2}{I_1 I_{02}} = \ln \frac{U_{\text{вых}2} U_{\text{оп}1}}{U_{\text{вых}1} U_{\text{оп}2}} = \frac{Q(\delta_{32}, \lambda_1, n)}{Q(\delta_{32}, \lambda_2, n)} = F_{12}(\delta_{32}),$$

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

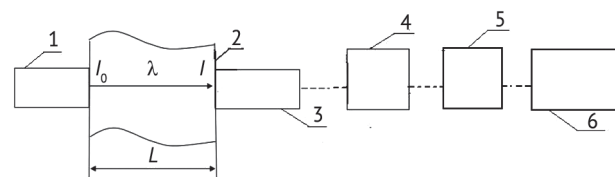


Рис. 2. Система лазерного зондирования на основе метода спектральной прозрачности.
1 – лазеры, 2 – газопоток, 3 – фотоприёмник, 4 – схема двойного синхронного детектирования, 5 – АЦП, 6 – ПК

5. Лазерная система предупреждения выбросов

Решение второй задачи по предотвращению поступления сверхнормативных выбросов в атмосферу предполагает управление технологическим оборудованием, а точнее, системой ПГО. Наиболее распространённым на данный момент способом предотвращения таких выбросов является остановка технологического оборудования и системы ПГО, что ведёт к сокращению объёма производимого цемента при простое оборудования и к негативным технологическим последствиям. Одной из основных таких проблем является сокращение рабочего ресурса технологического оборудования за счёт увеличения частоты его остановок. Решение данных проблем возможно только в случае устранения последствий отказа в системе ПГО без остановки технологического процесса.

Рассмотрим устройство и принцип действия предлагаемой системы предупреждения на примере помольного цеха, вторая ступень очистки которого представлена рукавными фильтрами. Ее структурная схема приведена на рис. 3. Предотвращение сверхнормативных выбросов в такой системе основано на равномерном перераспределении отходящих газов от мельницы с отказавшим ПГО между исправными системами ПГО остальных мельниц при наличии в исправно работающих системах достаточного функционального резерва. На выходе систем ПГО расположены рассмотренные ранее лазерные сенсоры зондирования 6.

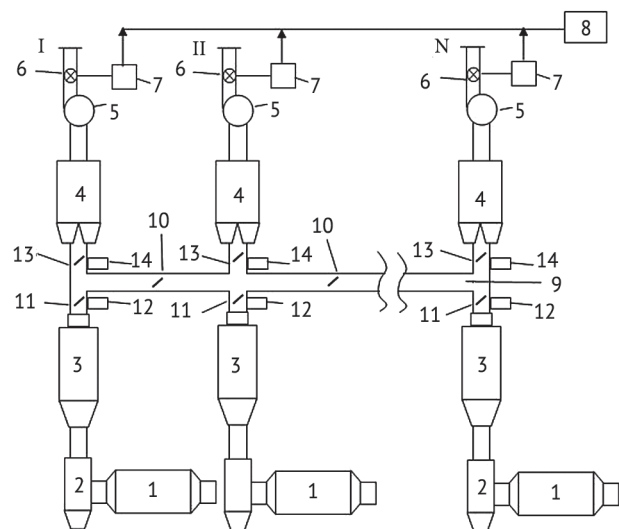


Рис. 3. Схема системы предупреждения аварийных выбросов аэрозолей на примере помольного цеха цементного производства 1 – мельница; 2 – аспирационная шахта; 3 – циклон; 4 – рукавный фильтр; 5 – вентилятор; 6 – лазерный сенсор; 7 – АЦП; 8 – ПК; 9 – соединительный газоход; 10, 11, 13 – заслонки; 12, 14 – микроманометры, N – число технологических линий и газоходов для них

Для отвода и перераспределения отходящих газов от мельницы с неисправным рукавным фильтром после циклонов 3 устанавливается соединительный газоход 9. В газоходе располагаются заслонки 10, при открытии которых отходящие газы могут распределяться между соседними рукавными фильтрами. Для равномерного перераспределения отходящих газов между исправными рукавными фильтрами 4 на их входах располагаются заслонки 13. Перед заслонками для измерения разрежения на входе каждого фильтра располагаются микроманометры 14. Контроль разрежения на входе фильтров необходим для равномерного распределения отходящих газов. Для обеспечения постоянного расхода отходящих от каждой мельницы газов на выходе каждого циклона располагаются заслонки 11 и микроманометры 12.

Рассмотрим детально работу такой системы предупреждения. Предположим, что отказ произошел на одном из рукавных фильтров, а система ПГО представляет собой разветвлённый газоход, в котором мельница с отказавшим фильтром параллельно подключена к исправным фильтрам посредством соединительного газохода 9. Чтобы осуществить равномерное распределение отходящих газов от мельницы с отказавшим фильтром, необходимо, чтобы заслонки 10, 11 и 13 имели следующие положения: заслонки 10 должны быть полностью открыты, заслонки 11 должны быть частично открыты в такой степени, чтобы разрежение на выходе всех циклонов имело первоначальное значение p_0 , которое было до отказа. В результате разрежение на выходе каждой мельницы будет равно первоначальному значению. Данное условие обеспечивает постоянный и равный первоначальному расход газов на выходе мельниц, и соответственно на выходе циклонов. Заслонки 13 должны быть приоткрыты так, чтобы отходящие от мельницы с отказавшим ПГО газы распределялись между исправными фильтрами равномерно.

Рассмотрим газоход 9 на рис. 3 как совокупность последовательно соединённых участков между соседними мельницами. Заслонки 13 должны быть открыты так, чтобы отходящие от мельницы с отказавшим фильтром газы двигались в газоходе 9 в направлении от неисправного фильтра к максимально удалённому от него. С этой целью каждая последующая заслонка 13, более удалённая от отказавшего фильтра, открывается в большей степени, чем предыдущая. Отходящие от мельницы с отказавшим фильтром газы должны попадать на каждую исправную систему в количестве Q/n (где Q — расход газа от каждой мельницы в $\text{м}^3/\text{час}$, n — количество исправных систем ПГО). В этом случае потери давления (напора) на каждом i -ом участке газохода $\Delta P_{z,i}$ должны составить [2]:

$$\Delta P_{z,i} = k_{z,i} \cdot (n_i/n \cdot Q)^2,$$

где: n_i — количество исправных фильтров после i -го участка газохода; $k_{z,i}$ — гидравлическое сопротивление участка газохода между двумя соседними рукавными фильтрами.

При этом разрежение на входе каждого рукавного фильтра, кроме отказавшего, должно составить:

$$P_i = P_{n,i} + \Delta P_{z,i}$$

где $P_{n,i}$ — разрежение на входе предыдущего фильтра, расположенного ближе всех к отказавшему. В итоге заслонка 13 на входе отказавшего фильтра должна быть полностью перекрыта, а вентилятор соответствующей системы — отключен.

Рассмотрим алгоритм работы лазерной системы предупреждения выброса на выходе ПГО. Согласно экспериментальным данным в [9] при отказе во второй ступени очистки возрастание концентрации аэрозольных частиц до уровня ПДК происходит в течение 4–5 минут (240–300 с). Следовательно, предотвращение поступления сверхнормативных выбросов в атмосферу посредством системы заслонок должно осуществляться за время, меньшее или равное интервалу с момента поступления сигнала лазерного сенсора об отказе рукавного фильтра. Рассчитаем минимальное время срабатывания предлагаемой системы по заданному алгоритму ее работы при отказе. Основным условием равномерного перераспределения отходящих газов от мельницы с отказавшим ПГО является своевременное открытие заслонок 13 исправных фильтров до установления соответствующих значений разрежения P_i . Кроме того, распределение отходящих газов между исправными фильтрами возможно только в случае, если заслонки 10 будут открыты. Однако если сначала открыть заслонки 10, а затем приоткрывать заслонки 13 до достижения значений разрежения P_i , то расход на входе каждого фильтра на

какое-то время до открытия заслонки 13 следующего фильтра будет сильно возрастать, что может привести к неудовлетворительной работе соответствующего ПГО. Поэтому открывать заслонки 13 необходимо до открытия заслонок 10. Для экономии времени заслонки 13 каждой системы открываются одновременно до достижения разрежения перед ними значений P_i . Эти действия производятся в отношении всех систем ПГО, кроме отказавшей. После приведения заслонок 13 в соответствующее положение одновременно открываются заслонки 10, отключается вентилятор и полностью перекрывается заслонка 13 отказавшей системы. Открытие заслонок 13 приведет к повышению разрежения на выходе циклонов и, как следствие, к повышению расхода, поэтому необходимо прикрыть заслонки 11 на выходе всех циклонов до приведения разрежения к первоначальному значению P_0 . Окончательное положение заслонок системы показано на рис. 4.

Из описанного выше алгоритма работы системы время предотвращения поступления выбросов в атмосферу t складывается из времени открытия заслонок 13 исправных систем ПГО (t_{13}), времени открытия заслонок 10 (t_{10}) и времени полного перекрытия заслонки 13 отказавшей системы ($t_{от,13}$). Время t_{10} равно времени T полного поворота заслонки на 90° (открытие либо закрытие). Так как заслонки 13 каждой системы изначально находятся в одинаковых положениях, заслонка 13 аварийной системы закрывается полностью, а заслонки 13 исправных систем открываются не полностью, то $t_{от,13} + t_{13} < 2T$. Таким образом, время предотвращения поступления аварийных выбросов в атмосферу системой $t < 2T$. Время полного поворота современных шибберных и регулирующих заслонок с электроприводом на 90° составляет от 35 до 150 с [3], поэтому общее время $t < 70-300$ с в зависимости от условий эксплуатации, что попадает в указанный выше интервал времени формирования выброса.

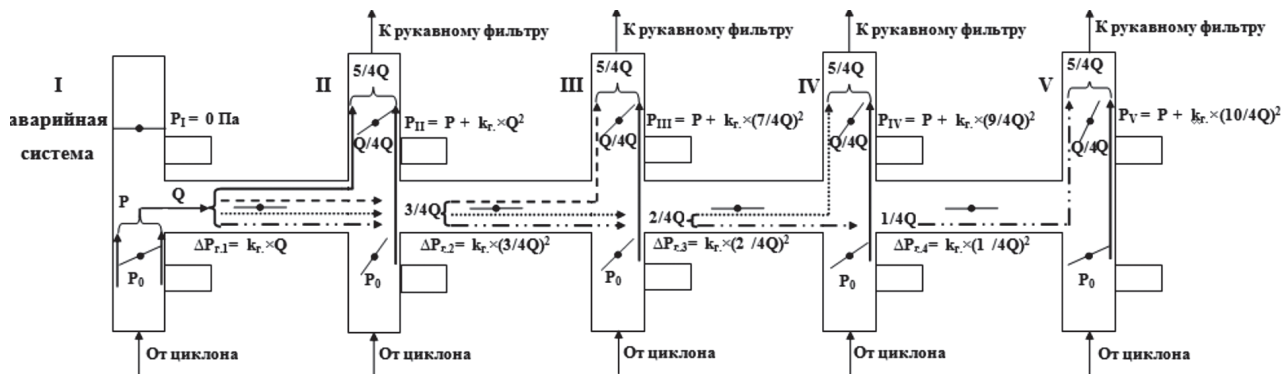


Рис. 4. Окончательное положение заслонок в системе и распределение отходящих газов

6. Заключение

Предложенная лазерная система позволяет предупреждать сверхнормативные выбросы. При этом решаются две важные задачи: предотвращение загрязнения окружающей среды с возможным нанесением вреда здоровью человека и устранение безвозвратных потерь сырья в виде мелкодисперсных

частиц цемента, в том числе в виде пыли, уносимых в атмосферу при неудовлетворительной работе ПГО.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке базовой части Госзадания Минобрнауки РФ (проект № 2284)

ЛИТЕРАТУРА

1. Привалов В.Е., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Анализ методов диагностики воздушных потоков полидисперсных аэрозольных частиц // Вестник СПбО АИН. — СПб. 2008. — Вып. №5. — С. 102–138.
2. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992.
3. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А.А. Русанова. — М.: Энергоатомиздат, 1983.
4. Прибор для измерения давления и скорости потока testo-512. www.testo.ru, www.meteopribor.ru.
5. DP-Calc Micromanometer Model 5825. www.tsi.com.
6. Веденин Е.И., Чартий П.В., Шеманин В.Г. Лазерная система предупреждения аварийных выбросов промышленных аэрозолей в атмосферу // Известия ВУЗов. Физика. 2013. — Т. 56, Вып. 8/3. — С. 278–280.
7. ГОСТ Р 50820-95. Оборудование газоочистное и пылеулавливающее. Методы определения запыленности газопылевых потоков.

8. Архипов В.А., Ахмадеев И.Р., Бондарчук С.С., Ворожцов Б.И., Павленко А.А., Потанов М.Г. Модифицированный метод спектральной прозрачности измерения дисперсности аэрозолей/ Оптика атмосферы и океана. 2007. — Т. 20, № 1. — С. 48–52.
9. 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.
10. 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.
11. 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.

REFERENCES

1. Privalov V.E., Chartij P.V., Shemanin V.G. Analiz metodov diagnostiki vozdushnykh potokov polidispersnykh aerazol'nykh chastits [Analysis methods for diagnosis of air flow polydisperse aerosol particles]. *Vestnik SPbO AIN* [Herald SPbSN AIN]. 2008, I. 5. P. 102–138.
2. Idel'chik I.E. *Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam* [Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992.
3. Rusanov A.A. *Spravochnik po pyle- i zoloulavlivaniyu* [Handbook of dust and ash collection]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983.
4. *Pribor dlya izmereniya davleniya i skorosti potoka testo-512* [A device for measuring the pressure and flow rate of testo-512]. Available at: www.testo.ru, www.meteopribor.ru.
5. DP-Calc Micromanometer Model 5825. Available at: www.tsi.com.
6. Vedenin E.I., Chartij P.V., Shemanin V.G. Lazernaya sistema preduprezhdeniya aviarnykh vybrosov industrial'nykh aerazoley v atmosferu [Laser warning system of accidental releases of industrial aerosols]. *Izvestiya VUZov. Fizika* [News of the universities. Physics]. 2013, V. 56, I. 8/3. P. 278–280.

7. *GOST R 50820-95. Oborudovanie gazoочистное i pyleulavlivayushchee. Metody opredeleniya zapylennosti gazopylevykh potokov* [GOST R 50820-95. Equipment gas-scrubbing and dust-collecting. Methods for determining the dust content of gas and dust flows.]. (in Russian)
8. Arkhipov V.A., Akhmadeev I.R., Bondarchuk S.S., Vorozhtsov B.I., Pavlenko A.A., Potapov M.G. // *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Ocean Optics]. 2007, V. 20, I. 1. P. 48–52.
9. Rybalko A.N., Charty P.V., Shemanin V.G. Dust concentration measurement laser instrument at industrial conditions [Dust concentration measurement laser instrument at industrial conditions]. *Proceeding of SPIE* [Proceeding of SPIE]. 2000, V. 4316. P. 130–136.
10. Shemanin V. G., Vasil'ev A.O., Chartij P.V. Monitoring vybrosov uglevodorodov pri khraneni i transportirovke nefi i nefteproduktov [Monitoring hydrocarbon emissions during storage and transport of oil and oil products]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Security in the technosphere]. 2011, I. 5. P. 3–7.
11. Privalov V.E., Rybalko A.V., Chartij P.V., Shemanin V.G. // *J. Technical Physics*. 2007, V.77, I. 3. P. 62–65.

Laser System of Aerosol Emissions Prevention

E.I. Vedenin, Post-graduate student, Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of the Kuban State Technological University

P.V. Charty, Associate Professor, Ph.D. in Physics and Mathematics, Novorossiysk Polytechnic Institute (branch) of the Kuban State Technological University

V.G. Shemanin, Head of Department, Doctor of Physics and Mathematics, Novorossiysk poly-technic institute (branch) of the Kuban State Technological University

Presented system simultaneously controls concentration and size distribution function of particles by means of two-wave laser sounding on the basis of spectral clarity method for increase of probability of aerosol emissions detection and identification at early stages of formation. Due to the system's operational algorithm its response time does not exceed 300 sec. Laser system of prevention of emissions above the allowable level over industrial facility allows to resolve two main issues: prevention of environmental pollution and elimination of raw materials losses in the form of dust emissions carried away into the atmosphere.

Keywords: laser system, aerosol emissions, failure, concentration, distribution function of particles by size, spectral clarity method, response time.

Рейтинг репутации вузов (рейтинговое агентство «Эксперт РА») – 2014 г. Топ-30 вузов в сфере «Технические, естественно-научные направления и точные науки»

№	Название вуза	Рейтинговый функционал
1	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова	95,66
2	МГТУ им. Н.Э. Баумана - Национальный исследовательский университет техники и технологий	50,78
3	Московский физико-технический институт (государственный университет)	44,56
4	Санкт-Петербургский государственный университет	31,95
5	Новосибирский государственный университет	30,79
6	Национальный исследовательский Томский политехнический университет	27,39
7	Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	21,08
8	Национальный исследовательский Томский государственный университет	19,11
9	Санкт-Петербургский государственный политехнический университет	18,75
10	Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина	18,08
11	Московский энергетический институт (НИУ)	17,79
12	Новосибирский государственный технический университет	17,15
13	Российский государственный университет нефти и газа им. Губкина	12,76
14	Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)	12,48
15	Казанский (Приволжский) федеральный университет	11,38
16	Сибирский федеральный университет	11,31
17	Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики	10,53
18	Южно-Уральский государственный университет (НИУ)	10,51
19	Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»	9,50
20	Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»	9,34
21	Московский государственный строительный университет (НИУ)	9,19
22	Московский авиационный институт (НИУ)	8,96
23	Тюменский государственный нефтегазовый университет	8,87
24	Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»	7,71
25	Уральский государственный горный университет	7,48
26	Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)	6,87
27	Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева (НИУ)	6,81
28	Самарский государственный технический университет	6,66
29	Южный федеральный университет	6,38
30	Уфимский государственный нефтяной технический университет	5,92

Источник: «Эксперт РА»(RAEX)