

УДК 681.121

Ю.Д. Украинский, Д.Н. Кузнецов, В.С. Цыбулька
ДонНУ, СКТБ «Турбулентность»
ДонНТУ, кафедра «Электронная техника»

РАСХОДОМЕР УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ НА ГОРЕЛКИ ПАРОВОГО КОТЛА КУРАХОВСКОЙ ТЭС

Аннотация

Украинский Ю.Д., Кузнецов Д.Н., Цыбулька В.С. Расходомер угольной пыли на горелки парового котла Кураховской ТЭС. В статье предложен метод измерения расхода угольной пыли в пылепроводе низкой концентрации, основанный на зависимости гидродинамических потерь на участке ввода пыли от количества вводимой в него угольной пыли и технические средства, реализующие данный метод.

Ключевые слова: расходомер, угольная пыль, горелки, измерительные каналы, испытания.

Актуальность. В настоящее время уголь является самым распространённым топливом для украинских ТЭС и пока является единственным энергоносителем, которым Украина располагает в достаточном количестве. Оптимальная работа котла ТЭС достигается при равной подаче топлива (угольной пыли) и поддержании стехиометрического состава воздухо-топливо по всем горелкам котла. Регулировка равномерности подачи топлива, в настоящее время, производится специалистами наладки по вторичным признакам и нарушается при смене режима работы котла, что ведёт к экономическим потерям из-за уноса горючих, перекосов температурного поля в котле и т.п. Поэтому стоит задача непосредственного измерения расхода угольной пыли на горелку в реальном масштабе времени.

Для измерения расхода угольной пыли в мире активно применяются расходомеры, основанные на методах отбора проб. Существует несколько методов отбора проб, но основные - метод ISO 9931 и метод ASTM/ASME [1]. Эти методы основаны на отборе серии проб из трубы, по которой подаётся угольная пыль. К основным недостаткам методов отбора проб следует отнести сложность реализации непрерывного режима измерения контролируемого параметра, наличие элементов, требующих регулярной замены, потребность в обслуживающем персонале, необходимость приобретения дорогостоящего оборудования и остановки энергоблока для его монтажа.

В экономических условиях, сложившихся на Украине, расходомеры, основанные на методах отбора проб, не находят широкого применения. Поэтому существует необходимость разработки расходомера, который бы обеспечивал непрерывное измерение расхода угольной пыли на горелки парового котла, был технологичен в установке, удобен в эксплуатации и, при этом, имел хорошие показатели точности и приемлемую стоимость.

В статье описывается такой расходомер для пылепроводов низкой концентрации (концентрация угольной пыли), разработанный в СКТБ «Турбулентность» Донецкого национального университета с привлечением специалистов Донецкого национального технического университета.

Постановка задачи.

Основной задачей работы является разработка расходомера угольной пыли, удовлетворяющего следующим требованиям:

- удобство в установке и эксплуатации;
- высокая надёжность;
- хорошие показатели точности (погрешность ~ 3%);

- сравнительно низкая стоимость.

Разрабатываемый прибор должен выполнять следующие функции:

- непрерывное измерение расхода угольной пыли на горелку котла;
- отображение информации в числовом виде и в виде графика;
- возможность сохранения результатов измерений за длительный период для ведения архива и последующей обработки и анализа;
- возможность использования сигнала для автоматизации управления расходом угольной пыли на горелку.

Решение задачи. Предложенный метод измерения расхода угольной пыли основан на зависимости потерь давления на участке разгона пыли от её концентрации. Схема участка пылепровода, на котором устанавливается расходомер, места установки отборников давления и термометра, приведена на рисунке 1.

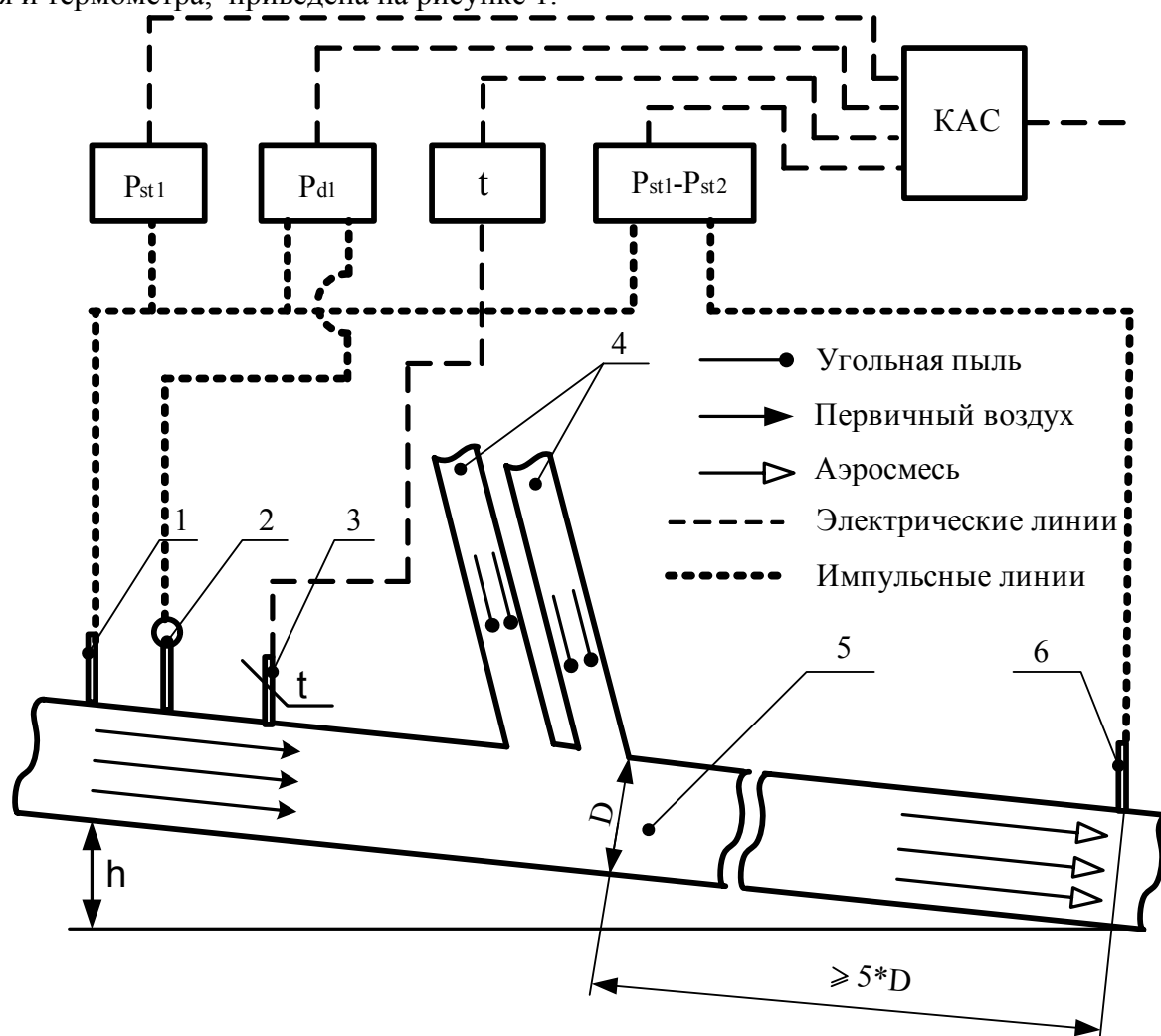


Рисунок 1 Технологическая схема установки расходомера

1, 6 - отборники стат. давления, 2 - зонд полного давления, 3 - термометр, 4 - точки, 5 – пылепровод, P_{st1} - датчик статического давления, P_{dl} - датчик динамического давления, t - термометр, $P_{st1-Pst2}$ - датчик разности стат. давлений, КАС - коммутатор аналоговых сигналов

В пылепроводе (5) создаётся поток газа (смесь воздуха с отходящими газами после циклона). Через две точки (4) в пылепровод в дозированном пылепитателем количестве поступает угольная пыль, осевая скорость которой близка к 0, смешивается с газом, образуя

аэрозоль, и транспортируется к горелке котла. Путь выравнивания скоростей газа и пыли больше пяти диаметров пылепровода.

В общем случае расход пыли определяется по методу площадь-скорость [4]

$$q = \rho_p \cdot V \cdot F \quad (1)$$

где q - расход пыли; ρ_p - концентрация пыли; V - расходная скорость аэрозоли; F - площадь пылепровода.

Для расчёта переменных величин ρ_p и V используется система уравнений (2-5) [6], связующая параметры потока в пылепроводе до (индекс 1) и после (индекс 2) введения пыли:

$$\text{уравнение Бернулли} \quad P_{st1} + \rho_1 \cdot \frac{V_1^2}{2} = P_{st2} + \rho_2 \cdot \frac{V_2^2}{2} + \Delta P_{12}; \quad (2)$$

$$\text{уравнение неразрывности} \quad \rho_{b1} \cdot V_1 \cdot F_1 = \rho_{b2} \cdot V_2 \cdot F_2; \quad (3)$$

$$\text{уравнение состояния} \quad \rho_{b1} = \frac{P_{st1}}{R \cdot T_i}; \quad (4)$$

$$\text{аддитивность плотности} \quad \rho_i = \sum \rho_j. \quad (5)$$

В уравнениях (2-5): P_{st} - статическое давление; ρ_i - плотность аэрозоли; ΔP_{12} - потери давления на участке; ρ_{b1} - плотность газа; T_i - температура; R - универсальная газовая постоянная; ρ_j - плотность компонент и концентрация пыли в аэрозоли; $i=1, 2$.

Скорость V_1 определяется по динамическому давлению зонда P_{d1} :

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot k_1 \cdot P_{d1}}{\rho_1}}, \quad (6)$$

где k_1 - коэффициент преобразования зонда.

Поскольку объём угля при концентрации $0,5 \text{ кг/м}^3$ (паспортная величина) составляет $\leq 0,04\%$ от объёма аэрозоли, то им можно пренебречь и, при $F_1 = F_2$ из уравнения неразрывности

$$V_2 = \frac{\rho_{b1}}{\rho_{b2}} \cdot V_1. \quad (7)$$

Так как в качестве несущего газа используется смесь воздуха и отходящих газов после циклона, то в нём имеется угольная пыль с начальной концентрацией ρ_{p0} , зависящей от эффективности работы циклона. При эффективности 80% , начальная концентрация равна $0,08 \text{ кг/м}^3$, является условно постоянной величиной и должна периодически определяться. Плотность аэрозоли ρ_1 до течек равна:

$$\rho_1 = \rho_{b1} + \rho_{p0}. \quad (8)$$

Плотность аэрозоли ρ_2 после течек равна:

$$\rho_2 = \rho_{b2} + \rho_{p0} + \rho_{pp}, \quad (9)$$

где ρ_{pp} - концентрация пыли, поступившей из течек.

Потери давления ΔP_{12} , в (2) состоят из гидродинамических потерь ΔP_g и пьезометрического перепада ΔP_h :

$$\Delta P_{12} = \Delta P_g + \Delta P_h. \quad (10)$$

Поскольку число Re течения в пылепроводе $> 2 \cdot 10^5$, то:

$$\Delta P_g = k_2 \cdot \frac{\rho_1 \cdot V_1^2}{2}, \quad (11)$$

где k_2 – коэффициент гидродинамического сопротивления участка

А пьезометрический перепад:

$$\Delta P_h = \rho_2 \cdot g \cdot h, \quad (12)$$

где g – ускорение свободного падения.

Подставляя в (2) соотношения (6), (10), (11) и (12), и решая относительно ρ_2 , получаем значение плотности аэросмеси, идущей на горелку:

$$\rho_2 = \frac{(P_{st1} - P_{st2}) + (1 - k_2) \cdot k_1 \cdot P_{d1}}{\frac{V_2^2}{2} + g + h}. \quad (13)$$

Из (9) концентрация пыли на горелку ρ_p равна

$$\rho_p = \rho_2 - \rho_{b2}, \quad (14)$$

а концентрация пыли пылепитателя:

$$\rho_{pp} = \rho_p - \rho_{p0}. \quad (15)$$

И окончательно расход угля получаем в виде:

$$Q = k_3 \cdot \rho_p \cdot F \cdot V_2, \quad (16)$$

где k_3 - коэффициент перевода расхода в т/час.

Для определения расхода угля по вышеприведённым соотношениям необходимо на пылепроводе измерять следующие величины: статическое давление; скоростной напор P_{d1} ; разность статических давлений ($P_{st1} - P_{st2}$); температуру аэросмеси T_1 (из-за малого времени разгона ($\sim 0,1$ с) считаем постоянной на участке разгона).

Таким образом, необходимы 2 датчика дифференциального давления, датчик статического давления и датчик температуры (см. рис. 1). К трубопроводу перед точками привариваются штуцер отбора статического давления (1) и штуцера ввода цилиндрического зонда полного давления и термометра (2, 3), и за точкой ещё один штуцер отбора статического давления, на расстоянии не менее пяти диаметров пылепровода.

На технологической схеме мелким пунктиром обозначены воздушные трубки, а крупным пунктиром – электрические кабели для передачи информационного аналогового сигнала на коммутатор аналоговых сигналов. Структурная схема расходомера представлена на рисунке 2. Она включает в себя 4 измерительных канала: два канала измерения динамического давления, канал измерения температуры и канал измерения статического давления. Динамические давления $\Delta P1$, $\Delta P2$ с помощью дифманометров преобразуются в электрический ток-вый сигнал и далее с помощью преобразователей ток-напряжение преобразуются в электрический сигнал в напряжения. В канале измерения температуры используется термометр сопротивления. С помощью преобразователя сопротивление-напряжение получаем электрический сигнал в вольтах, который с помощью нормирующего усилителя НУ приводится к стандартному уровню. Датчик статического давления сразу дает сигнал напряжения. Далее электрические сигналы измерительной информации через коммутатор аналоговых сигналов КАС подаются на АЦП, преобразуются в цифровой формат и вводятся в микроконтроллер МК. Микроконтроллер осуществляет дальнейшую обработку измерительных сигналов, вычисляет расход угольной пыли и выдает результат на индикацию. Также к микроконтроллеру через интерфейс RS485 можно подключать компьютер. Это необходимо для получения де-

тальных значений всех измеряемых параметров для построения зависимостей, графиков, а также для сохранения и печати результатов измерений.

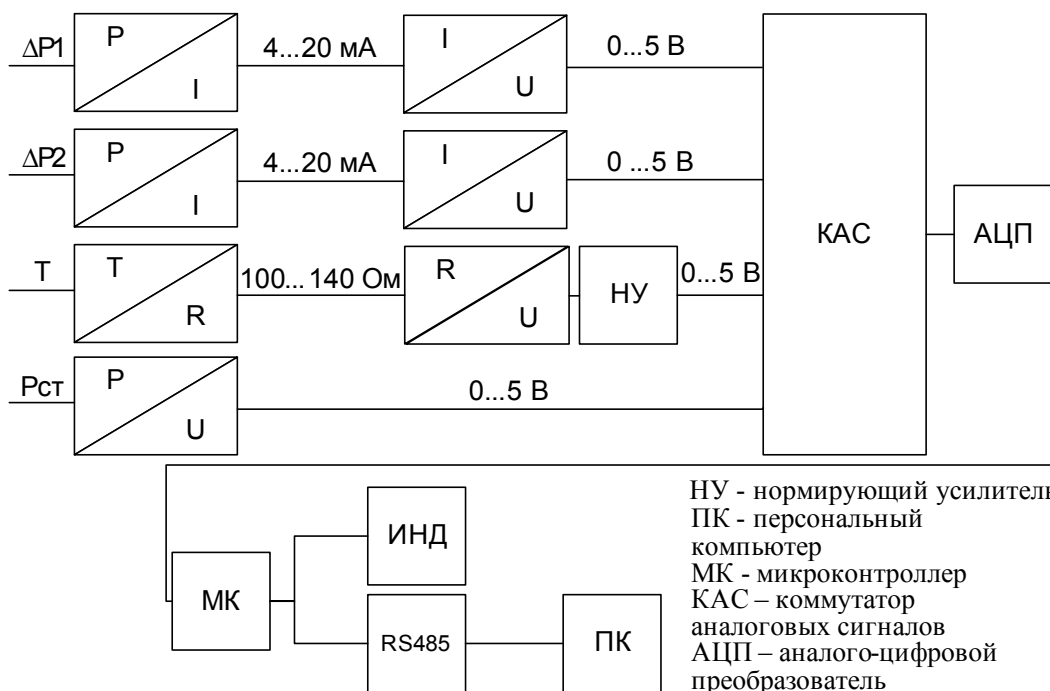


Рисунок 2 – Структурная схема расходомера угольной пыли

Результаты испытаний. В октябре 2009 года был произведён монтаж одного расходомера на котёл Кураховской ТЭС. До настоящего момента канал работает без сбоев, несмотря на отсутствие продувки. Типичный график архивных данных расхода пыли по пылепроводу приведён на рисунке 3. Блок находился в резерве, а потом вводился в работу.

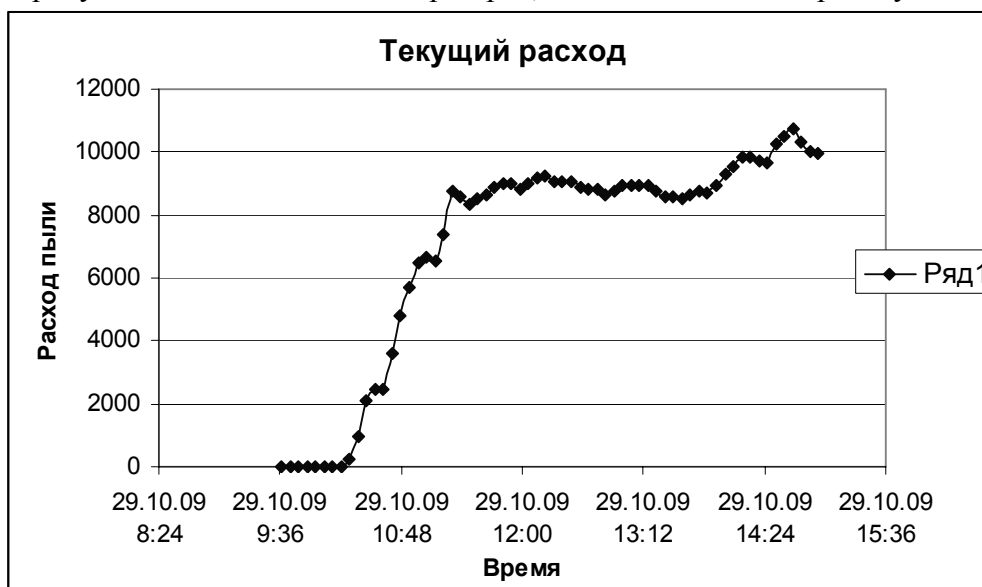
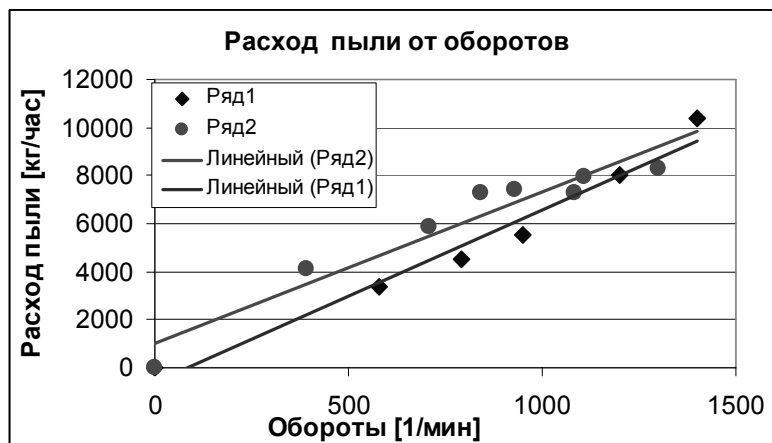


Рисунок 3 – График расхода пыли через горелку №15 энергоблока №4 при пуске блока.

В ноябре 2009 г. пылепитатель №15 был выведен из группы на 4 часа и была снята характеристика производительности пылепитателя от оборотов. На рисунке 4 приведены результаты измерений с помощью разработанного расходомера ● и результаты измерений ве-

совым способом \blacklozenge , проведённые на пылепроводе в 1999 г. цехом наладки Кураховской ТЭС.



- \bullet на пылепроводе №15 энергоблока №4.
- \blacklozenge на пылепроводе №8 энергоблока №8 в 1999 г.

Рисунок 4 – Зависимость расхода пыли от оборотов пылепитателей.

Результаты дают удовлетворительное совпадение и согласуются с паспортными данными пылепитателей. Таким образом, расходомер показал работоспособность в рабочих условиях при достаточно простом аппаратном обеспечении. Эксплуатация канала показала также возможность производить измерения без зонда, используя падение давления на участке между шибером и течками, определяя коэффициент сопротивления этого участка при наладке. Таким образом, на пылепроводе остаются только врезки статического давления и в расходомере практически отсутствуют изнашивающиеся детали (кроме самого пылепровода).

Фотография установленных датчиков расходомера представлена на рисунке 5.

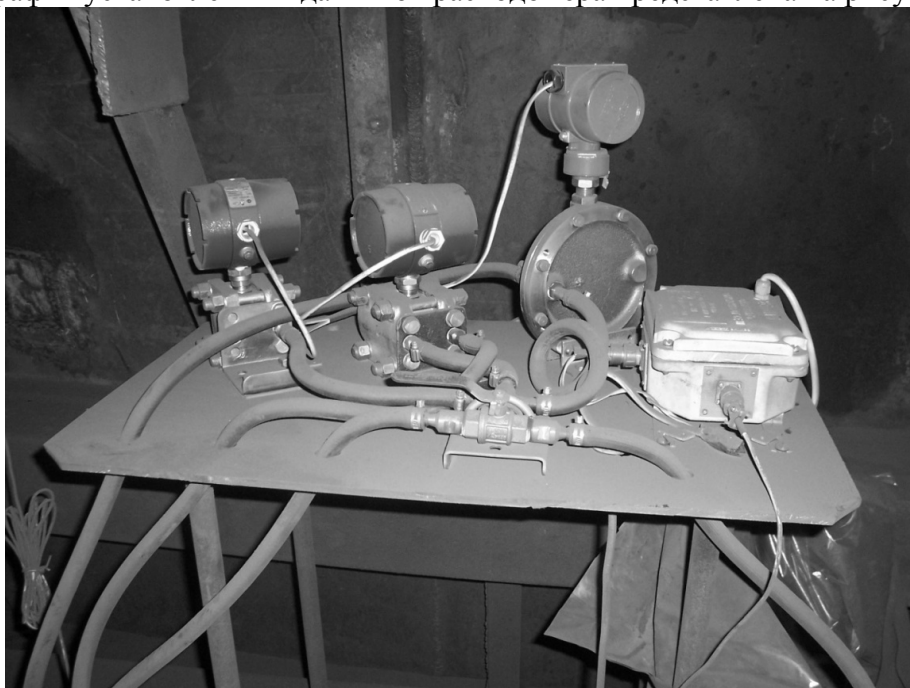


Рисунок 5 – Блок датчиков измерительного канала.

Выводы.

1. Результаты натурных испытаний разработанного расходомера подтвердили работоспособность предложенного пневматического метода измерения расхода угольной пыли.
2. Расходомер обеспечивает непрерывное измерение расхода угольной пыли на горелку парового котла, его монтаж не требует остановки энергоблока, прибор не содержит элементов, требующих частого обслуживания.

Литература

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. Отд-ние. 1989. – 701 с.
2. ГОСТ 15528–86. Разновидности расходомеров и их преобразователей.
3. ГОСТ 15528–86. Средства измерений расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.
4. ГОСТ 8.361–79. Расход жидкости и газа. Методика выполнения измерений по скорости в одной точке сечения трубы.
5. Повх И.Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1974, – 480 с.
6. Повх И.Л. Техническая гидромеханика. 2-е изд., доп. Л., «Машиностроение», 1976. – 504 с.
7. Температурные измерения. Справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К., и др.; Отв. Ред. Геращенко О.А.; АН УССР. Нн-т проблем энергосбережения.-Киев : Наука. Думка, 1989.– 704 с.–ISBN 5-12-000490-3.
8. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. Пособие для вузов./ Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скугоров; Под общ. ред. Н.Н. Евтихьева. -М.: Энергоатомиздат, 1990.- 352 с.: ил.
9. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев Н.А. Бабушкина А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.; Энергоатомиздат, 1991.– 1232 с. – ISBN 5-283-04013-5.
10. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 304 с.: ил.

Abstract. *The article proposes a method for measuring the coal dust flow based on the dependence of hydrodynamic loss factor in the dust flue area and the coal dust introduced number into it, moreover technical tools that implement this method.*

Keywords: *flowmeter, coal dust, gas-rings, measuring channel, testing.*

Аннотація. *У статті запропонований метод виміру витрати вугільного пилу, заснований на залежності коефіцієнту гідродинамічних втрат на ділянці пилопровід від кількості вугільного пилу, що вводиться до неї і технічні засоби, що реалізують цей метод.*

Ключові слова: *витратомір, вугільний пил, пальники, вимірювальні канали, випробування.*

Здано в редакцію:
23.04.2010р.

Рекомендовано до друку:
д.т.н, проф. Зорі А.А.