

УДК 621.317.799

МЕТОД И УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ ОТ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ЧАСТИЦАМ АБРАЗИВА НА ВЫХОДЕ СОПЛА ПЕСКОСТРУЙНОГО АППАРАТА

© 2011 Д. В. Корнилин, М. В. Медведев

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Приведено описание устройства, позволяющего оценивать размеры и скорости частиц песка на выходе сопла пескоструйного аппарата. Принцип действия основан на фотоэлектрическом методе измерения. Приведены структурная и функциональная схемы прибора, оценены погрешности измерения.

Дисперсная фаза, скорость частиц, диаметр частиц, интерфейс USB, пескоструйная обработка, фотоэлектрический метод измерения, цифровая система.

В современной обработке металлических изделий актуальной проблемой является получение поверхности с заданной степенью очистки, например, перед нанесением лакокрасочных или антикоррозийных покрытий. Наиболее эффективной является обработка с помощью пескоструйного аппарата. Известно [1], что степень чистоты поверхности, а также эффективность работы во многом определяются размерами и скоростью частиц абразива. В данной работе предложены метод и устройство, на основе которых возможно оперативное управление процессом очистки с помощью пескоструйного аппарата. Он представляет собой камеру малого ракетного двигателя, оснащённую системами подачи горючего, окислителя и абразива. Камера имеет систему зажигания, которая осуществляет поджог (рис.1).

Продукты сгорания сообщают ускорение частицам песка в направлении выходного патрубка камеры. Стоит отметить, что эффективность обработки поверхностей, то есть скорость и степень очистки, определяется кинетической энергией летящих частиц песка [2]. Эту энергию E_k они получают от продуктов сгорания и выразить её можно через массу m и скорость полета v частиц.

Оперативный контроль и управление процессом очистки поверхности могут

быть осуществлены на основании данных о параметрах летящих частиц – дисперсной фазы. Масса частиц определяется через плотность используемого абразива (в данном случае песка) и объём V . Тогда для частиц сферической формы кинетическая энергия частицы находится по формуле

$$E_k = \frac{\rho \cdot r \cdot v^2 \cdot d^3}{12}, \quad (1)$$

где d – диаметр частицы, м³; ρ – плотность песка, кг/м³; v – скорость частицы, м/с.

Из (1) следует, что при известной величине плотности ρ кинетическая энергия E_k , а следовательно и эффективность обработки, зависят от скорости летящей частицы и её диаметра. Следовательно, необходимо устройство, осуществляющее измерение этих параметров в режиме реального времени, поскольку необходимо вести оперативный контроль. Устройство не должно влиять на ход эксперимента. Для повышения удобства эксплуатации необходимо обеспечить передачу данных на компьютер. Поскольку пескоструйные аппараты могут иметь существенные габариты и вес, то не всегда возможно доставить их в диагностическую лабораторию. Поэтому важным требованием к будущему устройству является необходи-

мость обеспечения малых габаритов и массы прибора для возможности работы в полевых условиях.

В качестве методов решения задачи наиболее подходящими являются фотоэлектрические: метод лазерной доплеровской анемометрии, метод лазерной интерферометрии, теневой метод, метод скоростного фотографирования [3-5]. Из многообразия этих методов выбираем теневой, поскольку с его помощью возможно определение размеров частиц. В теневом методе [6] пучок лучей от точечного или щелевого источника света (светодиода) направляется через исследуемый объект (измерительный объем с потоком частиц) и фокусируется на поверхности фотоприемника (фотодиод). При наличии оптической неоднородности (частица абразива) лучи будут рассеиваться и поглощаться ею. Таким образом, на фотодиоде можно получить импульс фототока, по параметрам которого можно судить о скоростях и размерах частиц.

С учётом вышеизложенных требований разработано устройство определения параметров дисперсной фазы для пескоструйного аппарата. Принцип работы поясним с помощью рис.1.

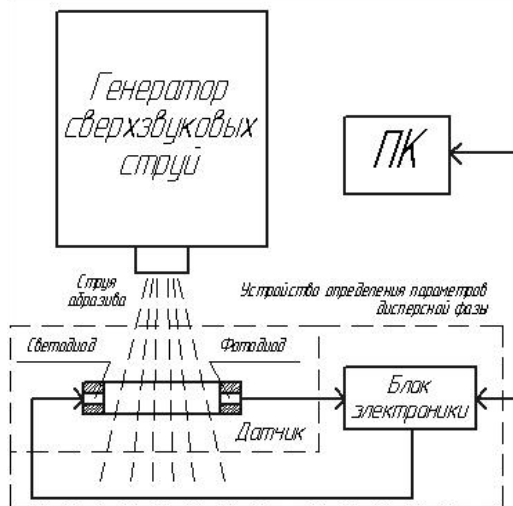


Рис. 1 Обобщённая структурная схема пескоструйной установки с устройством оценки импульса частиц

Прибор состоит из фотоэлектрического преобразователя (датчик), представляющего собой пару «светодиод-

фотодиод», установленную на выходе патрубка пескоструйного аппарата, и блока электроники. При пролёте частицы через измерительный объём на выходе преобразователя появляется импульс, длительность которого пропорциональна скорости частицы:

$$v = \frac{b + d}{t}, \tag{2}$$

где b – путь, пролетаемый частицей в измерительном объёме, м; d – диаметр частицы, м; t – время пролёта частицей измерительного объёма (длительность импульса), с, а амплитуда – квадрату диаметра:

$$U = k \cdot d^2, \tag{3}$$

где U – амплитуда импульса, В; d – диаметр частицы, м; k – коэффициент преобразования, В/м².

Блок электроники осуществляет обработку сигнала датчика в реальном времени и передачу информации о скоростях и диаметрах частиц на компьютер. Устройство позволяет регистрировать частицы диаметрами от 100 до 1000 мкм, летящих со скоростями от 10 до 1000 м/с.

На рис.2 представлена функциональная схема прибора.

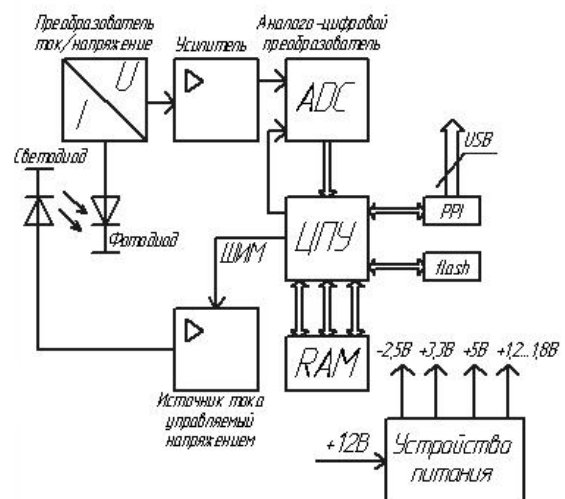


Рис. 2. Функциональная схема прибора

Импульс тока фотодиода преобразуется в импульс напряжения, затем усиливается усилителем с фиксированным усилением и поступает на вход АЦП. Он

осуществляет преобразование сигнала в цифровую форму для обработки микроконтроллером. Результаты измерений с микроконтроллера поступают во внешнюю оперативную память и в дальнейшем передаются на компьютер с помощью блока интерфейса. Микроконтроллер также осуществляет поддержание постоянного уровня освещенности фотодиода. Для этого, используя данные об уровне постоянной составляющей сигнала, он формирует ШИМ-сигнал управления источником тока светодиода. Программа работы хранится во внешней flash-памяти. Блок питания преобразует напряжение +12В во все требуемые для работы устройства номиналы. Низкое напряжение питания позволяет повысить взрывобезопасность прибора, а также использовать для питания аккумуляторные батареи при работе в полевых условиях.

Основными метрологическими характеристиками являются погрешности определения размера (эквивалентного диаметра) и скорости частиц.

Определение диаметров частиц и их скоростей в потоке газа осуществляется с помощью косвенных измерений, при которых каждому диаметру частицы соответствует своя амплитуда импульса, а скорости — его длительность. На общую погрешность измерения влияют также тракты усиления и аналого-цифрового преобразования.

Частица диаметром d , пролетая через измерительный объем протяженностью b , инициирует появление электрического импульса длительностью τ . Абсолютная погрешность определения скорости Δv вычисляется по формуле

$$\Delta v = \frac{\partial v}{\partial t} \cdot \Delta t, \tag{4}$$

где $\Delta \tau$ — абсолютная погрешность определения длительности импульса τ от пролетающей частицы, с.

Из (2) и (4) получим:

$$\Delta v = \frac{-(b + d)}{t^2} \cdot \Delta t, \tag{5}$$

Соответствующий график представлен на рис.3.

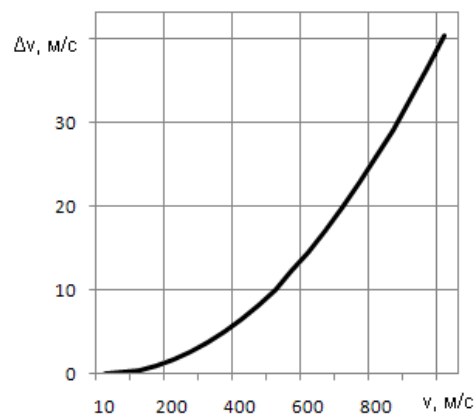


Рис. 3. Зависимость абсолютной погрешности определения скорости Δv от скорости v

Диаметр частицы определяется по величине амплитуды импульса напряжения U , создаваемого ею при пролете через измерительный объем.

Погрешность определения размера частиц, вызванная погрешностью определения амплитуды импульса, равна:

$$\Delta d = \frac{\Delta U}{2 \cdot \sqrt{k \cdot U}}.$$

На рис.4 представлен график зависимости абсолютной погрешности определения размера частицы от диаметра частицы.

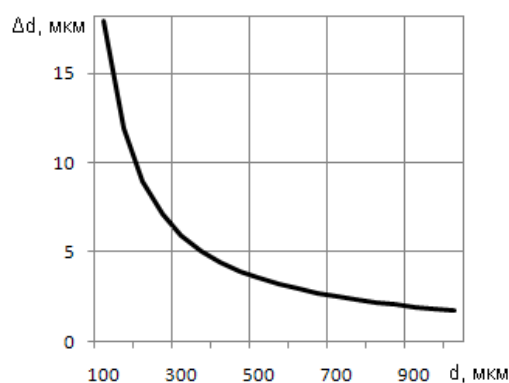


Рис. 4. Зависимость абсолютной погрешности определения размера частицы от диаметра частицы

На рис.5 представлен график зависимости относительной погрешности определения размера частицы от диаметра частицы.

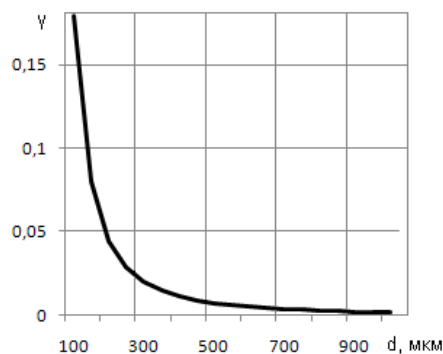


Рис. 5. Зависимость относительной погрешности определения размера частицы от диаметра частицы

Таким образом, по результатам расчётной оценки метрологических характеристик устройства можно привести следующие данные:

– погрешность определения скорости частиц не хуже 40.5 м/с на пределе 1000 м/с, 0.004 м/с на пределе 10 м/с;

– абсолютная погрешность определения размеров частиц не хуже 1.79 мкм, относительная погрешность $\gamma=0.00179$ на пределе 1000 мкм; абсолютная погрешность определения размеров частиц не хуже 17.9 мкм, относительная погрешность $\gamma=0.179$ на пределе 100 мкм.

Поскольку скорость измеряется по величине длительности импульса от частицы, то имеет место прямая зависимость погрешности от скорости. Другими словами, чем выше скорость движения частицы, тем больше погрешность измерения.

Результаты испытаний устройства показали хорошую корреляцию экспериментальных данных и теоретических оценок параметров движения частиц [2].

Библиографический список

1. Козлов, Д. Ю. Бластинг: Гид по высокоэффективной абразивоструйной очистке [Текст] / Д. Ю. Козлов. - Екатеринбург: ООО «ИД «Оригами», 2007. – 216 с.
2. Буланова, Е.А. Генератор сверхзвуковых струй на базе малогабаритной ракетной камеры для струйно-абразивной обработки материалов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 10.09.09: защищена 30.10.09 / Буланова Екатерина Александровна. – Самара, 2009. – 16 с.
3. Ринкевичюс, Б.С. Лазерная диагностика потоков [Текст] / Б. С. Ринкевичюс. – М.: Изд-во МЭИ, 1990. – 287 с.
4. Дубнищев, Ю.Н. Методы лазерной доплеровской анемометрии [Текст] / Ю.Н. Дубнищев, Б.С. Ринкевичюс. – М.: Наука, 1982. – 304 с.
5. Расковская, И. Л. Лазерная рефрактография оптически неоднородных сред [Текст] / И. Л. Расковская, Б. С. Ринкевичюс, А. В. Толкачёв // Квантовая электроника. – 2007. – №12. – С. 1176–1180.
6. Васильев, Л.А. Теневые методы [Текст] / Л. А. Васильев. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

METHOD AND APPARATUS FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF ENERGY TRANSFER FROM COMBUSTION PRODUCTS TO ABRASIVE PARTICLES AT THE EXIT OF A SAND BLASTER NOZZLE

© 2011 D. V. Kornilin, M. V. Medvedev

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents the device, allowing the assessment of the size and speed of sand particles at the exit of the sandblaster nozzle. It is based on the photoelectric method of measurement. The structural and functional diagrams of the device are presented. Measurement error is estimated.

Dispersed phase, particle velocity, particle diameter, USB, sandblasting, photoelectric measurements method, digital system.

Информация об авторах

Корнилин Дмитрий Владимирович, ассистент кафедры радиотехнических устройств, инженер ОНИЛ-16 «Радиоэлектронные методы и устройства диагностики систем летательных аппаратов», Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: радиоэлектронная диагностика, определение параметров дисперсной фазы дисперсных систем. E-mail: kornilin@mail.ru.

Медведев Михаил Владимирович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: радиоэлектронная диагностика, определение параметров дисперсной фазы дисперсных систем, робототехника, автоматизация систем. E-mail: nekokoneko@qip.ru.

Kornilin Dmitry Vladimirovich, lecturer, engineer of Laboratory 16 “Radioelectronic diagnostic methods and devices of aircraft systems”, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: radio-diagnostic techniques, monitoring parameters of disperse systems. E-mail: kornilin@mail.ru.

Medvedev Mikhail Vladimirovich, student of the department of radio devices, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: Radio-electronic diagnostics, determination of the parameters of the disperse phase of disperse systems, robotics, automatic systems. E-mail: nekokoneko@qip.ru.