

УДК 674. 681-5-08

ПАРАМЕТРЫ И ГРАДУИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОИЗОТОПНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ В СИСТЕМЕ ОЧИСТКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ СТЕНКАХ ЦИКЛОНА

Басова Е.В., Часовских В.П.

ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
Екатеринбург, e-mail: Lilo_79@mail.ru

Процесс очистки внутренних стен циклона от отложений мелкодисперсной древесной пыли – процесс сложный и трудоемкий. Автоматизация этого процесса возможна и необходима. В данной статье описываются контролируемые параметры и градуировочные характеристики системы, в частности радиоизотопных измерителей толщины пристеночных пылевых отложений. Приведена расчетная модель циклона деревообрабатывающей промышленности, как объекта автоматизации. Рассмотрены различные способы для измерения толщины слоя отложений на внутренних стенках циклона. Описаны основные виды погрешностей, которые возникают в процессе расчета радиоизотопного измерителя толщины. Дан график влияния плотности отложений на точность измерений толщины мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона.

Ключевые слова: пылегазовый поток, деревообработка, циклон, радиоизотопные методы, градуировочная характеристика, исполнительный механизм, автоматизация, квант

PARAMETERS AND GRADUATION OF THE CHARACTERISTIC OF RADIO ISOTOPE MEASURING INSTRUMENTS OF THE THICKNESS IN SYSTEM OF CLEARING OF ADJOURNMENT ON INTERNAL WALLS OF THE CYCLONE

Basova E.V., Chasovskikh V.P.

Ural State Timber University, Ekaterinburg, e-mail: Lilo_79@mail.ru

Process of clearing of internal walls of a cyclone, from adjournment of a small dust, process difficult. Automation of this process is possible and necessary. In given article controllable parameters and settlement characteristics of system, in particular radio isotope measuring instruments of a thickness of dust adjournment on walls are described. The settlement model of a cyclone of the woodworking industry, as object of automation is resulted. Various ways for measurement of a thickness of a layer of adjournment on internal walls of a cyclone are considered. Principal views of errors which arise in the course of calculation of a radio isotope measuring instrument of a thickness are described. The schedule of influence of density of adjournment on accuracy of measurements of a thickness of a fine dust on internal walls of a cyclone is given.

Keywords: dust-gas stream, woodworking, cyclone, radioisotope methods, strapping characteristics, the executive mechanism, automation, quantum

Выявление, рассмотрение, обоснование контролируемых параметров системы очистки

Пылегазовые потоки, состоящие из частиц древесной мелкодисперсной пыли, и характерные условия конструкции деревообрабатывающих циклонов устанавливают некоторые особенности очистки внутренних стен, к которым можно отнести вибрационный или комбинированный способ [6].

Расчетная модель циклона как объекта автоматизации процесса очистки воздуха от пылегазовых частиц представлена на рис. 1.

А) Возмущения – параметры «среды»:

$Q_{гп}$ – объем газового (пылегазового) потока, м³/с, это переменная величина, меняет свое значение по ходу движения пылегазового потока – в связи с изменением параметров газа (давление, температура), конденсацией и потерями;

$W_{гп}$ – скорость газового потока, м/с, также переменная величина, по ходу и по сечению также в связи с изменением параметров газа (давление, температура), конденсацией и потерями – из-за переменного сечения;

$z_{п}$ – концентрация пыли, величина безразмерная, переменная по ходу газопылевого потока, снижается в процессе очистки;

P_i – давление на входе в циклон, Па;

Б) Управления от «регулятора» при выборе варианта вибрационного способа очистки:

$w_{в}$ – частота вибратора, 1/с;

$Q_{в}$ – вынуждающая сила, Н, задается вибратором;

Основным параметром, требующим непосредственного и первоочередного контроля является толщина отложений на внутренних стенках циклона мелкодисперсной пыли – h_s . Параметры, которые возможно измерить любыми доступными способами, можно использовать как косвенные приблизительные оценки параметра толщины отложений на внутренних стенках циклона. Они могут использоваться для характеристики, оценки или расчета корректирующих воздействий.

При использовании основного параметра толщины отложений на внутренних стенках циклона в качестве основной контролируемой величины выявляется ряд трудностей, основными из них будут:

1. Широкий диапазон температур внутри циклона (300...700 К), давления (до $2,5 \cdot 10^5$ Па), скорости (до 150 м/с). [3]

2. Неравномерное распределение толщины слоя мелкодисперсной древесной пыли h_s по высоте корпуса циклона и окружности.

3. Неравномерная плотность слоя мелкодисперсной древесной пыли по глубине («кажущаяся» плотность p_k осажденных частиц мелкодисперсной пыли равномерно возрастает по мере приближения к внутренним стенкам циклона) [3].

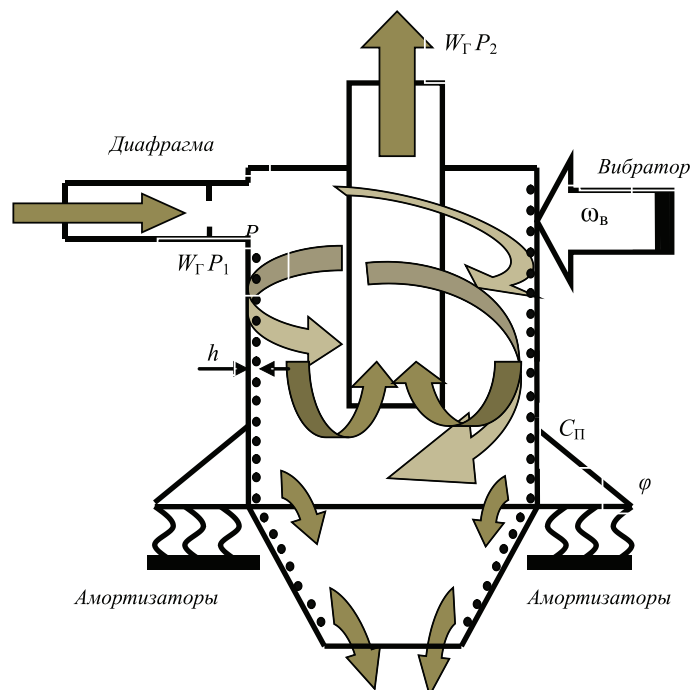


Рис. 1. Схема движения газопылевых потоков в расчетной модели циклона

Основная задача измерения толщины слоя мелкодисперсной древесной пыли, h_s , может быть решена достаточно просто, если принять во внимание следующие:

– во многом интерес представляется не столько точным значением толщины в какой-то определенной точке, а ее общее интегральное значение по всему периметру внутренней поверхности стен циклона;

– при решении главной задачи очистки внутренних стен циклона от мелкодисперсной древесной пыли значения требования точности измерений непосредственно толщины отложений уходит на второстепенный план.

Тем не менее имеет смысл проанализировать возможные методы измерения и обосновать наиболее эффективные способы измерения.

При рассмотрении таких параметров контроля, как – давление, расход воздуха, амплитуда колебаний более детально, надо учитывать, что их роль в решении основной задачи, очистки внутренних стен циклона, не принципиально важна, измерение же этих параметров проще с технической точки зрения.

В деревообрабатывающей и мебельной промышленности для измерения толщины отложений мелкодисперсной пыли приме-

няется много различных способов, от механических до сложнейших, основанных на сложных физических явлениях, таких как оптическая дифракция, ядерно-магнитный резонанс. При выборе метода необходимо руководствоваться такими показателями, как диапазон измерений, материалы, фракция исследуемого газопылевого потока, требования точности к измерениям, а также рабочим условиям. В нашем случае рабочие условия достаточно жесткие, как было рассмотрено выше, а требования к точности измерения не столь велики, допустимая погрешность измерений может колебаться в пределах 15–20%. Это позволяет нам сразу отказаться от таких методов, как механический и оптический. Более подробно рассмотрим некоторые косвенные методы:

1. Гидро-газодинамический метод, рассматривающий пропускную способность циклона, в зависимости от толщины отложений на внутренних стенках. Данный метод достаточно прост, отлично подходит для решения поставленной задачи. Недостаток гидро-газодинамического метода ограниченность измерений и слишком большая погрешность.

2. Метод, основанный на определении накопленной массы отложений по резонанс-

ной частоте механических колебаний циклона. Этот метод прост в работе, он дает интегральную оценку толщины слоя. По своему существу он наиболее отдален от исследуемых явлений. Основным недостатком данной методики – достаточно большая неточность значений исследуемых параметров.

Недостаток обоих методов вынуждает нас провести исследование для поиска оптимального решения поставленной задачи. Для измерения, контроля и калибровки разработанной системы рассмотрим более подробно радиоизотопный метод.

Обоснование радиоизотопного метода измерения

Принцип радиоизотопного метода предполагает собой поглощение или отражение исследуемым объектом γ – излучения. Из физики [2] известно, что коротковолновое γ – излучение можно представить как поток нейтральных частиц – квантов с энергией:

$$E = h \cdot \nu, \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, Дж·с;

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34}; \quad (2)$$

ν – частота, с^{-1} ,

$$\nu = \frac{c}{\lambda}; \quad (3)$$

λ – длина волны, м, движущейся со скоростью света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

При прохождении в веществе кванты излучения взаимодействуют с электронами. Взаимодействие проходит в нескольких аспектах: некоторое излучение поглощается, у некоторого уменьшается энергия или изменяется направление движения. Интенсивность потока квантов, проходящего через перпендикулярную единичную площадку, определяется формулой:

$$dI = \mu \cdot I \cdot dX, \quad (4)$$

где X – глубина проникновения, м; I – интенсивность движения потока, Дж·м⁻²; μ – коэффициент поглощения, м⁻¹.

Коэффициент поглощения μ , определяется как отношение числа квантов, которые уже провзаимодействовали, к числу квантов перед взаимодействием, умноженному на концентрацию атомов в веществе. Решение уравнения (4) дает уравнение (5):

$$I = I(0) \cdot \exp(-\mu \cdot X). \quad (5)$$

Вероятность столкновения квантов с электронами на расстоянии X в интервале dX определяется уравнением:

$$p(x)dx = \mu \cdot \exp(-\mu X)dx. \quad (6)$$

Вероятность рассеяния (поглощения) квантов можно характеризовать «сечениями» рассеяния (поглощения):

$$S = \frac{N}{N_0}, \quad (7)$$

где N – количество рассеянных (поглощенных) квантов; N_0 – общее число квантов, проходящих в единицу времени через площадку единичного сечения.

Для измерения толщины отложений на внутренних стенках циклона необходимо знать значения двух основополагающих взаимодействия кванта с электроном.

Первое – фотоэлектрический эффект,

Второе – процесс образования пары электрон-позитрон.

В случае фотоэлектрического эффекта вся энергия γ -кванта передается электрону, который покидает атом с кинетической энергией, равной:

$$E_e = E_\gamma - E_c, \quad (8)$$

где E_γ – энергия кванта, Дж; E_c – энергия связи электрона в атоме, Дж.

Фотоэлектрический эффект возможен в случае превышения энергией кванта энергии связи. Основополагающую роль в фотоэлектрическом эффекте играют электроны К-оболочки, также эффект возможен для L-оболочки, и других, более высоких оболочек. [4]

При образовании пары электрон-позитрон ей передается вся энергия γ -кванта, и ее кинетическая энергия становится равной:

$$E_{\Pi} = E_\gamma - 2 \cdot m_0 \cdot c^2, \quad (9)$$

где m_0 – масса покоя электрона, кг.

Фотоэлектрический эффект максимально возможен для малой энергии при большой атомной массе, процесс образования пар электрон – позитрон – для большой энергии и тяжелых элементов. Притом, что энергия квантов при распространении в веществе изменяются в широком диапазоне, ни одним из указанных эффектов пренебречь нельзя.

Процесс рассеяния квантов свободными электронами определяется эффектом Комптона. При эффекте Комптона изменяется и энергия квантов, и направление их движения. Связь между двумя энергиями E (до столкновения), E' (после столкновения) и углом рассеяния θ определяется по формуле:

$$E' = \frac{E}{\left[1 + \frac{E \cdot (1 - \cos \theta)}{m_0 \cdot c^2}\right]}. \quad (10)$$

Полное взаимодействие γ -квантов с веществом определяется суммой явлений

фотоэффекта, образования пар и комптоновского рассеяния, различающейся в зависимости от начальных значений энергии:

$$\mu = \mu_{\phi} + \mu_{\pi} + \mu_{\kappa}. \quad (11)$$

В литературе [1, 5 и др.] приводятся формулы для вычисления всех составляющих, при этом учитываются свойства материала, который подвергается исследованию. Наличие формул, однако, не предоставляет уверенности в надежности контроля и так же не освобождает разработчика автоматической системы от моделирования и экспериментальных исследований из-за разброса параметров рабочих сред и разнообразия условий измерений.

Существует множество методов позволяющих реализовать радиоизотопный метод измерения толщины. Рассмотрим три метода, наиболее точно подходящие к нашим условиям рабочей среды:

1) просвечивания узким пучком, основывается на регистрации первичного излучения, после прохождения через исследуемый слой мелкодисперсных отложений на внутренних стенках циклона.

2) просвечивания широким пучком. Метод сложен в своей реализации и дает большую погрешность при измерении, так как рассеянное γ -излучение сильно влияет на точность показателей.

3) метод рассеянного γ -излучения, называемый также гамма-гамма-метод (γ - γ -метод). Дает достаточно точное значение толщины слоя отложений мелкодисперсных отложений на внутренних стенках циклона, в интегральном значении, также допускает коррекцию точности измерений.

При применении метода рассеянного γ -излучения возможно значительное, по сравнению с ранее рассмотренными, по-

вышение точности измерений за счет коллимации луча и выделения определенного спектра излучения. Толщина слоя d определяется по известной формуле:

$$d = \left[\frac{k}{(\mu p)} \right] \cdot \ln \left[SE_{\gamma} \cdot I (4 p \pi \cdot R^2 I) \right], \quad (12)$$

где k – коэффициент поправки по влиянию внутренних стен циклона, и неполную коллимацию γ -излучения и т.п.; μ – массовый коэффициент ослабления излучения, $\text{м}^2/\text{кг}$; p – плотность материала отложений, $\text{кг}/\text{м}^3$; S – количество γ -квантов, испускаемых источником в единицу времени; I – количество регистрируемых γ -квантов; E_{γ} – энергия γ -кванта, Дж; R – расстояние источник-детектор излучения, м.

Существующие погрешности измерений связаны в своем большинстве с неоднородностью материала слоя отложений мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона, его неравномерным распределением по толщине, неравномерностью плотности отложений по толщине, а также с различными флуктуациями, которые имеют свойство быть, при применении электронной аппаратуры.

Источники непосредственно самого излучения вместе с детекторами фиксируются на стенах циклона, подлежащего контролю. При выборе метода и приборов прямого назначения в источниках и детекторах необходимо заранее предусмотреть коллиматоры. При корректировке результатов измерений по плотности материала необходима выработка сигналов компенсации, уравнение (12), можно использовать ряд сфокусированных датчиков аналогичного типа. На рис. 2 приведены экспериментальные зависимости результатов измерений от плотности материала.

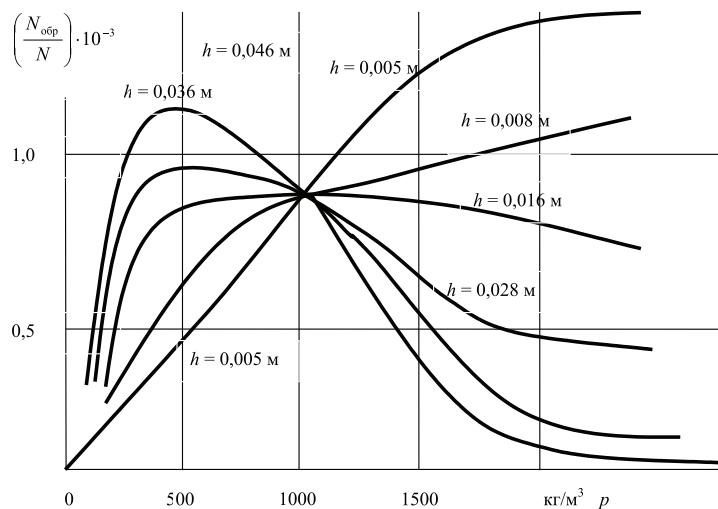


Рис. 2. Влияние плотности отложений на точность измерений толщины мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона

Список литературы

1. Басова Е.В., Часовских В.П. Анализ способов очистки внутренних стен циклона от отложений частиц древесной пыли // *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: VI Международный евразийский симпозиум.* – 2011. – 1.
2. Бритвин Л.Н., Ветлугин М.М. Обоснование структуры специализированных насосных установок // *Новые технологии в автоматизации управления.* – 2004.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты пылеочистки: учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.
4. Математические методы в автоматизации технологических процессов строительства / В.А. Воробьев, Р.Г. Барский и др. – Алматы: Гылым, 1997.
5. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли и газов воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982.
6. Пирумов А.И. Обеспыливание воздуха – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Стройиздат, 1981.

References

1. Basova E.V., Chasovskih V.P. *Analiz sposobov ochistki vnutrennih sten ciklona ot otlozhenij chastic drevesnoj pyli: VI Mezhdunarodnyj evrazijskij simpozium «Derevoobrabotka: tehnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka».* 2011. no 1.

2. Britvin L.N., Vetlugin M.M. *Obosnovanie struktury specializirovannyh nasosnyh ustanovok: Novye tehnologii v avtomatizacii upravlenija.* 2004. MADI (GTU).

3. Vetoshkin A.G. *Processy i apparaty pyleochistki. Uchebnoe posobie.* Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2005.

4. Vorob'ev V.A., Barskij R.G. i dr. *Matematicheskie metody v avtomatizacii tehnologicheskikh processov stroitel'stva.* Almaty: Gylym, 1997.

5. Kouzov P.A., Mal'gin A.D., Skryabin G.M. *Ochistka ot pyli i gazov vozduha v himicheskoj promyshlennosti.* L.: Himija, 1982.

6. Pirumov A.I. *Obespylivanie vozduha.* 2-e izd., ispr. i dop. M.: Strojizdat, 1981.

Рецензенты:

Котляревская И.В., д.э.н., профессор, зав. кафедрой менеджмента ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург;

Лабунец В.Г., д.т.н., зав. кафедрой «Теоретические основы радиотехники» ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 12.12.2011.