

**ГРАДУИРОВОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОИЗОТОПНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННИХ СТЕН ЦИКЛОНА
ОТ ОТЛОЖЕНИЙ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ**

В результате исследования процесса очистки внутренних стен циклона от отложений мелкодисперсной древесной пыли авторами предложен радиоизотопный метод измерения толщины пристеночных отложений. Даны описания характерных и специфических особенностей приборов, работающих по принципу радиоизотопных методов, а также основных функций устройств, обрабатывающих сигналы с радиоизотопного прибора при условии необходимости применения источников с минимальными уровнями радиации.

Ключевые слова: деревообработка, циклон, радиоизотопные методы, градуировочная характеристика, погрешность, диапазон.

E.V. Basova, V.P. Chasovskikh

**CALIBRATING CHARACTERISTICS OF THE RADIATION THICKNESS GAUGE OF THE AUTOMATED SYSTEM
FOR CLEANING THE CYCLONE INSIDE WALLS FROM THE FINE WOOD DUST DEPOSITS**

Radionuclear technique for measuring the near wall deposit thickness is offered by the authors as a result of researching the process of the cyclone inside wall cleaning from the fine wood dust deposits. Descriptions of the characteristic and specific peculiarities of the devices, which operate on the radionuclear technique principles and main functions of the devices, which handle the signals of the radionuclear device in condition of necessary application of the sources with minimum radiation level are given.

Key words: wood processing, cyclone, radionuclear technique, calibration characteristics, error, range.

Введение. 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 [1].

В деревообрабатывающей и мебельной промышленности для измерения толщины отложений мелкодисперсной пыли применяется 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, допускаемая 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 резонансной частоте механических колебаний циклона. Этот метод прост в работе, он дает интегральную оценку толщины слоя. По своему существу он наиболее отдален от исследуемых явлений. Основной недостаток данной методики – достаточно большая неточность значений исследуемых параметров.

Цель исследования. Недостаток обоих методов вынуждает нас провести исследования для поиска оптимального решения поставленной задачи. Для измерения, контроля и калибровки разработанной системы рассмотрим более подробно радиоизотопный метод [2].

Радиоизотопный метод. Приборам, которые работают на принципе радиоизотопных методов, присущи важные специфические особенности:

1. Обеспечение надежного бесконтактного контроля величин в максимальном диапазоне рабочих условий, таких как давление, температурная среда и т. п.

2. Излучение проникает сквозь стены большой величины, из различного материала, без значимой погрешности сигнала. Данная особенность позволяет крепить детекторы на внешней стене циклона.

3. Используя ионизированное излучение, получают данные об изотопном составе и химических составляющих исходного вещества, в данном случае мелкодисперсной древесной пыли.

4. Радиационный сигнал при радиоизотопном методе не канализируется. Дистанционная передача может быть осуществлена только с учетом потерь интенсивности, информационная составляющая сигнала также несет искажения.

5. Радиоизотопные методы требуют выполнения абсолютно всех жестких требований, норм и правил радиационной защиты. Этот пункт предусматривает собой необходимость применения источников с минимальными уровнями радиации.

Проводя анализ особенностей приборов при радиоизотопном методе, необходимо отметить следующее. Если принимать во внимание преимущественное применение радиационных методов именно в рабочих условиях циклонов деревообрабатывающей промышленности, то наиболее подходящие первые две особенности приборов. В особенности эффективности размещения аппаратуры.

Если отталкиваться от энергетического спектра (рис. 1), то именно третья особенность приборов, которые работают на принципе радиоизотопных методов, располагает к наиболее подробным и точным ответам на вопросы интерпретации результатов контроля и корректировки метрологических данных аппаратуры.

При более детальном рассмотрении четвертой и первой составляющей пятой особенности нельзя не заметить, что появляется необходимость более внимательного изучения вопросов первичного преобразования сигнала и перевода информации детекторов излучения в электрический сигнал дискретного типа, обязательно прямо на месте установки датчиков.

Рассмотрев частично пятую особенность приборов, опишем ее вторую составляющую, которая заключается в применении источников минимальной плотности энергии. При этом велико проявление вероятностного характера закона генерации квантов, их распределения в пространстве и во времени. Это вынуждает применять чувствительную, усиливающую и регистрирующую аппаратуру. Проявляется высокое влияние случайных отклонений наблюдаемых физических величин от их средних значений.

При использовании дискретных детекторов ионизирующего излучения информативными параметрами являются количество или частота импульсов; амплитуда импульса в данном случае остается неизменной в пределах одного определенного диапазона. В последующем при передаче и обработке информативного потока импульсы подвергаются усилению и форматированию.

В детекторах сцинтилляционного типа радиационный сигнал преобразуется в оптический, далее посредством фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) – в электрический, для дальнейшего усиления и преобразования.

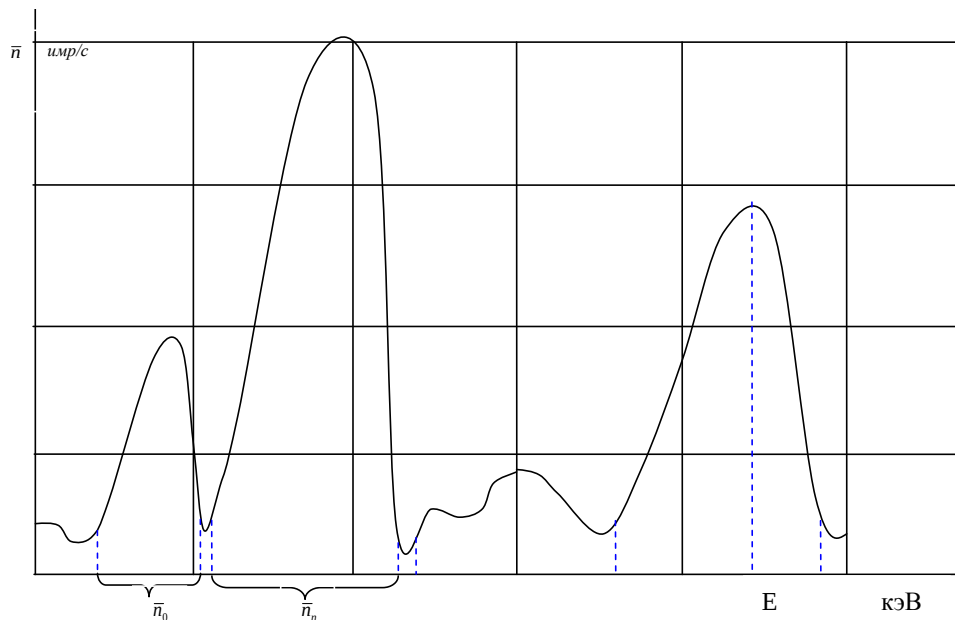


Рис. 1. Энергетический спектр, который регистрирует детектор радиоизотопного толщиномера

Основной функцией устройства, обрабатывающего сигналы с радиоизотопного прибора, при условии жесткой необходимости применения источников с минимальными уровнями радиации является усредняющее преобразование сигнала. На вход блока обработки информации поступает случайный сигнал, главный информативный параметр которого – средняя частота поступления импульсов [4]

$$n_{cp} = f(X), \quad (1)$$

где X – измеряемый параметр.

В таком случае при обработке информативного потока будет использоваться измеритель средней частоты (ИСЧ). Максимально точным и удобным в данном случае считаются цифровые ИСЧ, работающие методом нормируемого счетчика. Цифровые ИСЧ подсчитывают за интервал T количество входных импульсов N

$$N = n_{cp} \cdot T. \quad (2)$$

Для статистических величин, подчиняющихся распределению Пуассона, среднеквадратическое отклонение равно

$$\sigma = \sqrt{N}. \quad (3)$$

Случайная погрешность характеризуется двумя параметрами:

1. Величина самой погрешности.
2. Доверительная вероятность.

Максимальную погрешность, согласно формулам (2) и (3), а также «правилу трех сигм», можно выразить как

$$\Delta_{\max} = 3\sqrt{n_{cp} \cdot T}. \quad (4)$$

Относительную статистическую погрешность (коэффициент вариации) определяют из зависимости

$$W = \sigma / N = 1 / \sqrt{N}. \quad (5)$$

С уверенностью можно сказать, что снижение значения погрешности достигается путем увеличения значения средней частоты импульсов, или, другими словами, интенсивности источника излучения (не нарушая норм и требований по радиационной безопасности), а также повышения значений времени измерений [5]. При рассмотрении нашего случая оптимальное значение погрешности измерения около 20%, с учетом скорости налипания отложений мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона, принимаем интервал в районе 20–30 секунд.

Зависимость средней частоты импульсов от толщины слоя мелкодисперсной пыли на внутренних стенках циклона можно выразить уравнением

$$n_{cp} = n_0 + (n_{II} - n_0) \cdot \exp \left[-(\mu_1 + \mu_2) \cdot X \right], \quad (6)$$

где n_0 – средняя частота импульсов после дискриминатора при отсутствии пристеночных отложений мелкодисперсной пыли, 1/с;

n_{II} – средняя частота импульсов после дискриминатора при сплошном слое отложений мелкодисперсной пыли, цельным полотном покрывшим внутренние стенки циклона, 1/с;

μ_1 – коэффициент ослабления возбуждающего излучения в слое отложений мелкодисперсной пыли, м²/кг;

μ_2 – коэффициент ослабления характеристического излучения в слое отложений мелкодисперсной пыли, м²/кг;

ρ – плотность слоя мелкодисперсной пыли, кг/м³;

X – толщина слоя мелкодисперсной пыли, м.

Преобразуя формулу (6), имеем

$$n_{cp} = n_{II} + A \cdot [1 - \exp(-a \cdot X)], \quad (7)$$

где A – коэффициент средней частоты импульсов после дискриминатора, 1/с.

$$A = n_{II} - n_0. \quad (8)$$

$$a = (\mu_1 + \mu_2) \rho, \quad (9)$$

где a – показатель экспоненты.

Из уравнения (7) следует, что зависимость средней частоты импульсов от толщины измеряемого слоя пылевых отложений на внутренних стенках циклона – экспоненциальная. Номинальная статическая характеристика преобразователя при этом выражается уравнением (10), которое выражает закон преобразования информации в измерительном устройстве.

$$X = \left(\frac{1}{a}\right) \cdot \ln \left[\frac{A}{A + n_0 + n_{cp}} \right]. \quad (10)$$

Точное число импульсов, которое обозначило и сосчитало устройство обработки информации с учетом (2) и (7), равно

$$N = n_0 \cdot T + AT \left[1 - \exp(-aX) \right] \quad (11)$$

Из данного уравнения следует, что номинальная статическая характеристика преобразования будет равна

$$X = \left(\frac{1}{a}\right) \cdot \ln \left\{ \frac{1}{\left[\frac{1 - (N - N_0)}{AT} \right]} \right\}, \quad (12)$$

где общее число квантов, проходящих в единицу времени через площадку единичного сечения

$$N_0 = n_0 \cdot T. \quad (13)$$

Для кусочно-линейной аппроксимации уравнения (13) необходимо расписать выбор координат точек перегиба, число линейных отрезков и углы их наклона. При цифровом представлении результатов опыта погрешность будет обоснована интервалами дискретности и будет задана отношением или в процентном соотношении от верхнего значения диапазона измерения. Аппроксимацию данной логарифмической зависимости лучше всего осуществлять с постоянным значением погрешности. Введем новое обозначение

$$\zeta = \frac{N - N_0}{AT}. \quad (14)$$

Тогда выражение (12) будет

$$aX = -\ln(1 - \zeta). \quad (15)$$

Принцип замены одних математических объектов другими, в том или ином смысле близкими к исходным, объясняет рисунок 2. Первый отрезок проходит через начало координат

$$aX = K_1 \cdot \zeta. \quad (16)$$

Абсолютная погрешность в этом случае

$$\delta = K_1 \cdot \zeta + \ln(1 - \zeta). \quad (17)$$

Максимальное значение погрешности будет располагаться в той точке, в которой первая производная

$$\frac{d\sigma}{d(aX)} = 0, \text{ в этом случае наблюдаем выполнение условия}$$

$$\zeta = 1 - \frac{1}{K_1}. \quad (18)$$

Максимальная погрешность на первом участке аппроксимации, таким образом, равна

$$\delta_{\max} = K_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{K_1} + \ln\left(1 - 1 - \frac{1}{K_1}\right)\right) = K_1 - \ln(K_1 - 1). \quad (19)$$

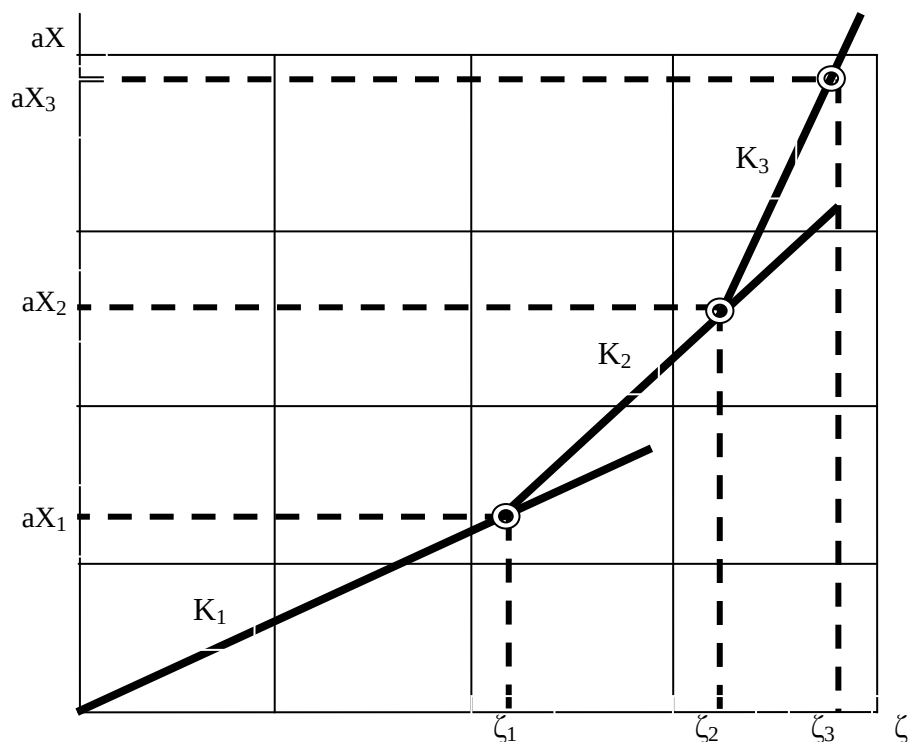


Рис. 2. Аппроксимация градуировочной характеристики

Точка перехода первого отрезка во второй получается из выражения

$$\sigma = \ln\left\{\left[\frac{1}{1 - \zeta_1}\right] - K_1 \cdot \zeta_1\right\}. \quad (20)$$

Второй отрезок аппроксимации получаем из выражения

$$aX - aX_1 = K_2 \cdot (\zeta - \zeta_1). \quad (21)$$

Погрешность на этом участке

$$\sigma = aX_1 + K_2(\zeta - \zeta_1) - \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta} \right]. \quad (22)$$

Максимальное значение погрешности будет находиться в точке, где первая производная

$$\frac{d\sigma}{d(aX)} = 0:$$

$$\zeta = 1 - \frac{1}{K_2}. \quad (23)$$

Максимальное значение погрешности на втором участке

$$\sigma_{\max} = aX_1 + K_2(1 - \zeta_1) - \ln(K_2) - 1. \quad (24)$$

Момент перехода второго отрезка в третий отрезок определяется как

$$\sigma = \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta_2} \right] - aX_1 - K_2(\zeta_2 - \zeta_1). \quad (25)$$

Уравнения (22), (26) выражают точки σ_2 и aX_2 перехода второго отрезка в третий. Точку пересечения i -го и $(i+1)$ -го аппроксимирующих отрезков можно определить:

$$\sigma_i = \ln \left[\frac{1}{1 - \zeta_i} \right] - aX_{i-1} - K_1 \cdot (\zeta_i - \zeta_{i-1}). \quad (26)$$

$$aX_i = aX_{i-1} - K_i(\zeta_i - \zeta_{i-1}). \quad (27)$$

Обеспечение необходимой зависимости в соединении точек минимума нагрузочной характеристики (линия 1) между собой плавной кривой (линия 2). Во время изменения нагрузки происходит переход системы в другое (новое) равновесное состояние, которое соответствует кривой $U = f(I, P_{\text{опт}})$, при этом экстремальный регулятор временно отключается. Происходит определение новой рабочей точки внешним регулятором, и работа экстремальной системы снова начинает работать.

Управление по внешнему контуру осуществляется методом разбивания всего диапазона управления на ряды поддиапазонов, в каждом из которых необходимо установить индивидуальное номинальное значение $U = f(I, P_{\text{опт } 0})$, которое будет соответствовать $P_{\text{опт}}$. Блок поиска БП (рис. 4) обеспечивает ступенчатую

настройку $U = U_{\text{опт}}$, обеспечивает скачкообразную установку U_0 , далее экстремальный регулятор запускает ровный поиск оптимума в новом нагрузочном диапазоне.

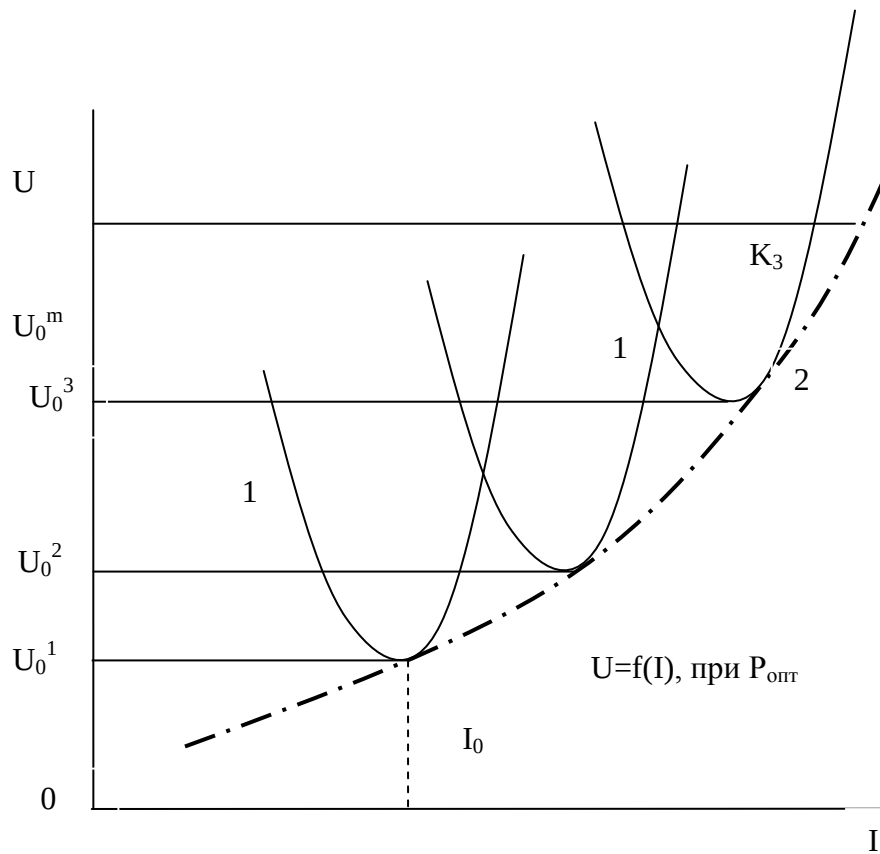


Рис. 3. Тарировка привода исполнительнй системы

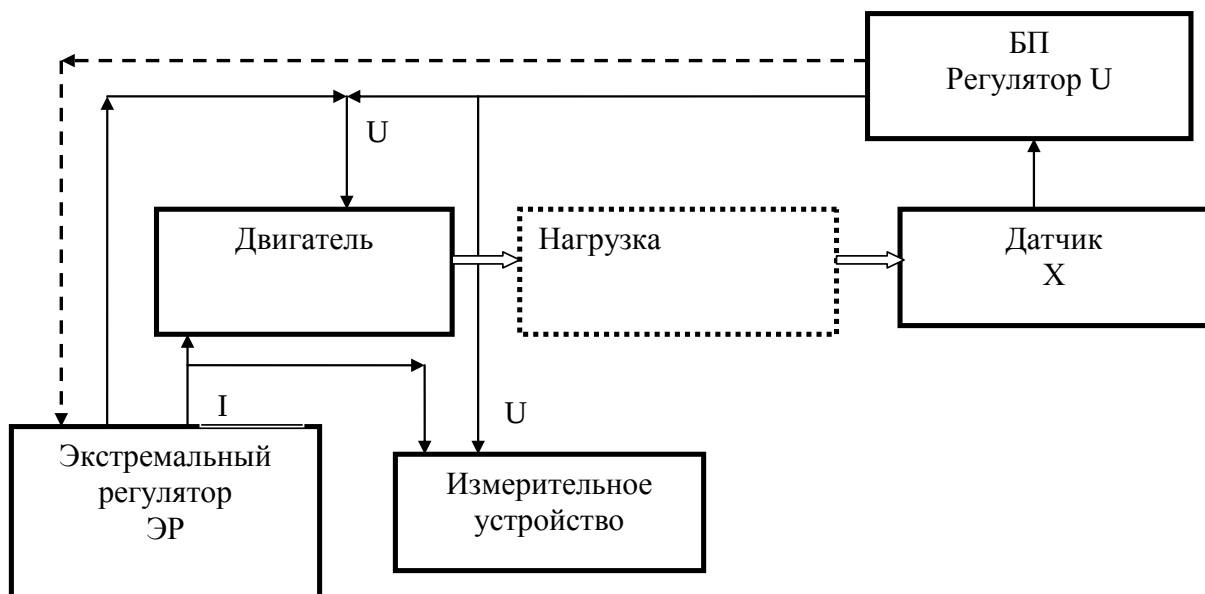


Рис. 4. Структура управляющей части исполнительного механизма системы

Заключение. Исходя из вышесказанного, приходим к выводу, что параметры искомой аппроксимирующей ломаной определяются с помощью программируемых рекуррентных формул.

Работа электроприводов деревообрабатывающих циклонов требует достаточного диапазона реализуемой мощности, к которой прибавляются требования обеспечения ровного регулирования скорости и оптимальности сопряжения с цифровым экстремальным регулятором системы [3]. После проведенного выше анализа исполнительных механизмов на основе микропроцессорных контроллеров с силовой тиристорной электроникой приведем блок-схему данного типа.

Управление системой ведется с помощью стандартного регулятора, автоматически отыскивающего и поддерживающего такие значения регулирующих воздействий, при которых показатель качества работы регулируемого объекта достигает экстремального значения. Обработка сигналов управления по экстремальной функции нагрузочного момента $P = P(M_H)$ происходит автоматически системой. Потеря экстремума происходит при переходе из одного устойчивого состояния в другое. Во избежание скачкообразных изменений нагрузки рекомендуется принимать тарировочную зависимость напряжения питания двигателя от тока якоря при оптимальной нагрузке (рис. 3).

Литература

1. *Пирумов А.И.* Обеспыливание воздуха. – М.:Стройиздат,1981.
2. *Ветошкин А.Г.* Процессы и аппараты пылеочистки: учеб. пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.
3. Математические методы в автоматизации технологических процессов строительства / *В.А. Воробьев* [и др.]. – Алматы.: Гылым, 1997.
4. *Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрыбин Г.М.* Очистка от пыли и газов воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982.

