

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЦЕНИВАНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ КАК ОСНОВА «БЮДЖЕТНОЙ» ЭЛЕКТРОННОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЫ СБОРА ИНФОРМАЦИИ О ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЕРРИТОРИИ

В.Ф. Белявин

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

e-mail: balasas@voliacable.com

При численном моделировании атмосферного переноса радионуклидов в составе аэрозольных частиц пыли в окрестностях объектов хранения радиоактивных отходов, которое позволяет получать значения концентрации радионуклидов в поверхностном слое грунта зоны загрязнения, требуется измерение концентрации частиц пыли – аэрозолей приземного слоя атмосферы [1].

Приведем размеры некоторых характерных частиц пыли, сгруппировав их по размерам следующим образом:

1. Частицы с размером менее 0,1 мкм – это вирусы, дым от горения смолы, дым от натуральных веществ, копоть (сажа), табачный дым, сахарная пудра, угольные газообразные продукты горения;

2. Частицы с размером более 0,1 мкм и до нескольких микрометров. Это микробы, автомобильные выбросы в воздух, глина, пыль металлургическая, пыль древесного угля, радиоактивные осадки, сажа (угольная);

3. Частицы с размером более нескольких микрон и до сотен микрон. Это более многочисленная группа частиц – глина, асбест, дым от автотранспортных средств, дровяного отопления, открытого горения, промышленных процессов, дым от горения синтетических веществ, песок речной, мука известковая, мука измельченная, пыль угольная, пыль взвешенная различных веществ.

Мелкие частицы (менее 1 мкм) медленно падают. В спокойной атмосфере процесс может занять от дней до годов для оседания. В возмущенной атмосфере они могут никогда не осесть. Частицы среднего размера – в пределах от 1 до 100 мкм – медленно оседают. Скорость оседания около 0,2 м/с. Крупные частицы – больше чем 100 мкм – быстро падают. Скорость оседания около 0,5 м/с.

Приведенные данные показывают наличие в атмосфере частиц, размеры которых являются определяющими для *нефелометрического метода* – предмета обсуждения данной работы.

Отметим основные особенности известных методов измерения концентрации частиц пыли. Известные методы делятся на две группы:

1) методы с выделением дисперсной фазы: массовые (весовой гравиметрический, радиоизотопный, пьезоэлектрический) и счетные (кониметрические). В настоящее время весовой гравиметрический метод является единственным «узаконенным» методом для проведения градуировки, поверки, арбитражных анализов.

К недостаткам этих методов относят большую трудоемкость и низкую чувствительность, обуславливающую длительность пробоотбора при измерении малых концентраций;

2) без выделения дисперсной фазы: оптические и электрические. Оптические методы занимают ведущее место в этой группе и используют два измерительных принципа: абсорбционный (измерение ослабления интенсивности излучения) и *нефелометрический* (измерение рассеянного излучения).

Электрические методы используют трибоэлектрический эффект взаимодействия частиц дисперсной фазы.

Целью данной работы является обсуждение возможностей нефелометрического метода оценивания концентрации радиоактивных аэрозолей приземного слоя атмосферы.

При рассмотрении *нефелометрического* метода автор видит необходимость анализа трех взаимосвязанных вопросов:

1) достаточно исчерпывающего рассмотрения с точки зрения *физики нефелометрического метода*, основанного на явления рассеяния инфракрасных световых волн ближнего диапазона в воздушной полидисперсной среде;

2) рассмотрения некоторых свойств полидисперсных сред с радиоактивной аэрозольной фазой;

3) рассмотрение технико-экономических вопросов приборного обеспечения, предоставляемого мировой приборостроительной индустрией для контроля атмосферы.

Физика нефелометрии. Рассеяние света – явление изменения какой-либо характеристики потока оптического излучения при его взаимодействии с веществом. Этими характеристиками могут быть: пространственное распределение интенсивности; частотный спектр; поляризация света. Последовательное описание рассеяния света возможно в рамках квантовой теории взаимодействия излучения с веществом.

В аэрозольных дисперсных средах во многих случаях оказывается достаточным описание рассеяния света в рамках *волновой теории излучения*. Это обусловлено линейными размерами золь дисперсных фаз, которые находятся в диапазоне 0,1 мкм и менее и до сотен мкм. В рамках этой теории, по мнению автора, выбор длины волны λ излучателя порядка 1 – 2 мм позволил бы использовать наиболее разработанную физическую теорию – теорию рассеяния Рэлея – для исследования и анализа вещества по интенсивности электромагнитной волны, рассеиваемой частицами вещества (неметаллические золи; длина волны λ излучения много больше размера L рассеивающих частиц: $L \leq 0,15 \lambda$; рассеивающие частицы не взаимодействуют).

В этом случае частота излучения для $\lambda \approx 1$ мм равнялась бы ≈ 300 ГГц. Элементная база приемопередающих компонент для работы на таких высоких частотах пока слишком громоздка и дорога.

Известным электронным (оптоэлектронным) компонентом, компактным и недорогим, широко освоенным в массовом производстве, с длиной волны излучения около 1 мкм (0,001 мм), является инфракрасный светодиод.

Излучатели, аналогичные по технико-экономическим показателям инфракрасным светодиодам, с $\lambda \approx 0.01 - 0.1 - 1$ мм, автору неизвестны.

При оптическом излучения с длиной волны около 0,8 мкм имеет место наличие частиц первой группы с размерами значительно меньше длины волны излучения; второй группы с размерами порядка длины волны излучения; третьей группы с размерами, значительно большими длины волны.

Рассеяние света на аэрозолях первой группы описывается теорией Релея, в рамках второй группы рассеяние света мелкими частицами можно описать на основе теории дифракции света на диэлектрических частицах. Характерные особенности этого вида рассеяния можно представлены в рамках строгой теории, разработанной для сферических частиц английским ученым А. Лявом и немецким ученым Ми. Так, Ми дал формулу рассеяния света дал формулу рассеяния света, применимую для частиц любых размеров, а не только для сферических частиц, меньших длины волны, что исторически ранее было представлено формулой Рэлея для диэлектрических частиц.

В рамках третьей группы частиц рассеяние света как такового не происходит; имеет место отражение света (геометрическая оптика, законы Френеля для зеркальной поверхности, Ламберта для диффузного рассеяния).

В целом, интенсивность рассеяния Релея I_R для фиксированных длины волны излучения, коэффициентов преломления среды и дисперсных *диэлектрических* частиц пропорциональна с численным коэффициентом K_R числу частиц N в единице объема дисперсной среды и квадрату объема V частиц дисперсной фазы [2]:

$$I_R = K_R \cdot N \cdot V^2, \quad \text{или} \quad I_R = K_{RS} \cdot N \cdot S^3. \quad (1)$$

если объем сферы выразить через площадь ее поверхности S .

Для *металлических золей* изменение интенсивности отраженного света может существенно отличаться от зависимости, представленной формулой (1)

В случае частиц второй группы (в видимой части спектра при этом имеет место эффект Тиндаля – свечение среды при прохождении света – опалесценция), интенсивность рассеяния I_T пропорциональна с численным коэффициентом K_T числу частиц N в единице объема дисперсной среды и площади S поверхности частиц дисперсной фазы:

$$I_T = K_T \cdot N \cdot S. \quad (2)$$

Для частиц третьей группы, когда их размеры значительно превышают длину волны, имеет место отражение света или «рассеяние» вследствие диффузного отражения.

Хаотически движущиеся частицы могут давать «рассеянный» свет, величина интенсивности которого, очевидно, пропорциональна суммарной площади частиц-рассеивателей. В полидисперсных системах, как отмечается в [2], наличие даже небольшого числа более крупных частиц дает сильный рассеянный свет, который маскирует свет, рассеянный от частиц мелкодисперсной фазы.

Выражения (1) и (2) отображают изменение интенсивности светового потока. Частотный спектр (длина волны) не изменяется. Исследуя изменение поляризации рассеянного излучения, можно оценивать дисперсность дисперсной фазы среды.

Из (1) следует, что увеличение объема частиц-рассеивателей (увеличение площади поверхности частиц, уменьшение дисперсности среды) приводит к увеличению рассеяния света. Из (2) следует, увеличение площади поверхности частиц дисперсной фазы (что не связано однозначно с уменьшением/увеличением дисперсности) приводит к увеличению рассеяния света.

Можно считать, что величина рассеянного света, измеряемого нефелометром, зависит от суммарной площади частиц-рассеивателей, а также показателя преломления частиц, который является функцией диэлектрической и магнитной проницаемости дисперсной фазы. Эта величина не связана с удельным весом частиц дисперсной фазы.

Нефелометры наиболее эффективны для измерения концентрации частиц дыма в диапазоне 0 – 0,8 мг/куб.м и проградуированы в этом диапазоне концентраций частиц дыма независимо от их природы. По-видимому, удельный вес и показатели преломления частиц дыма примерно одинаковы для дыма любой природы.

Что касается частиц второй группы, то для определения концентрации дисперсной фазы требуется калибровка нефелометра для дисперсной фазы данного вещества.

Поступающие в атмосферный воздух радиоактивные аэрозоли в зависимости от условий выпуска (высота труб, и др.), или, например, радиоактивные осадки, подвергаются более или менее интенсивному рассеиванию, но со временем осаждаются на поверхность земли. Эти аэрозоли принадлежат по размерам к частицам второй группы.

При бесконтрольном удалении радиоактивных отходов, а также в случае аварий возможны загрязнения окружающей территории. Характерным примером может служить поступление радиоактивного йода. плутония-239. По-видимому, радионуклиды накапливаются на поверхности частиц дисперсной фазы; величина рассеянного света (2) пропорциональна величине радиоактивного радиоактивного загрязнения атмосферы.

Мировая приборостроительная индустрия предоставляет широкий выбор приборов измерения загрязненности атмосферы – нефелометров. Один из мировых лидеров в области разработки технических решений для процессов измерения загрязнения воздуха –

фирма TSI Inc, США. Новый прибор DUST TRAK модели 8533 Size/Mass совмещает в себе нефелометр и оптический анализатор размеров частиц. Обеспечивает измерение массовой концентрации аэрозоля в реальном времени (разрешение – 1 сек) в широком диапазоне (1 мкг/м³ – 150 мг/м³) с информацией о распределении по размерам. Обеспечено подключение прибора к компьютеру для сбора и обработки информации. Однако стоимость подобных приборов – тысячи долларов. Не так давно создан новый класс приборов для контроля наличия пыли в воздухе - датчики аэрозольных частиц. Они не имеют собственной пневматической системы для прокачки анализируемого воздуха, значительно проще по конструкции, а электронный блок служит, главным образом, для усиления и передачи полученного сигнала в информационную систему. С их появлением стремительно начали развиваться автоматизированные системы контроля мониторинга атмосферы. Характерным представителем таких приборов является «Compact Optical Dust Sensor» GP2Y1010AU0F фирмы SHARP. Датчик содержит инфракрасный диод, фототранзистор и аналоговый импульсный усилитель. Откалиброван в диапазоне концентраций дисперсной фазы 0 – 0,8 мг/куб.м. Стоимость датчика около \$10.

На основе этого датчика автором изготовлен макетный образец централизованной бюджетной системы мониторинга: датчик через аналого-цифровой преобразователь подключен к микропроцессору типа AT89S8253. Микропроцессор считывает в заданном темпе показания датчика, управляет обдувом датчика, через GSM модуль типа M12 передает информацию на центральное GSM-устройство (мобильный телефон), подключенный к компьютеру, в котором производится последующая обработка информации. Стоимость комплектующих радиоэлементов такого устройства до \$100.

В целом, система может состоять из некоторого количества «полевых устройств» с датчиками пыли, а также температуры, влажности, скорости ветра т.д., которые передают данные через GSM центральный компьютер. Количество точек измерения может составлять десятки точек; измерения производятся автоматически и одновременно, широкий динамический диапазон; временная дискретность измерений и передачи данных задаются центральным компьютером.

Выводы:

1. Проанализированы методы контроля концентрации пыли в атмосфере, выбран и обоснован нефелометрический метод, т.к. он позволяет определять концентрацию пыли с высокой точностью, высоким быстродействием и без участия человека
2. Предложена структурная схема «бюджетной» электронной централизованной системы сбора информации радиоактивного загрязнения территории

Список источников:

1. Адаптация метеорологической модели WRF для прогнозирования полей ветра вокруг Ривненской АЭС / А.В. Халченков, И.В. Ковалец, А.Н. Романенко // Математичні машини і системи. – 2015. – № 1. – С. 130 – 138.
2. «Справочник химика» в 7 томах, под общей редакцией чл. - корр. АН СССР Б. П. Никольского. – 1962-1966 .
3. Data sheet электронных компонент GP2Y1010AU0F, AT89S8253, LTC 1098, M12