

Метод контроля предельно допустимых концентраций опасных респираторных фракций атмосферного аэрозоля с беспилотных летательных аппаратов

В.И. Иванов, Н.И. Иванов

НИИ ядерных проблем Белорусского государственного университета, Минск

E-mail: ivanov.inp@gmail.com

Загрязнение приземного слоя атмосферы мелкодисперсными твердыми частицами с размерами менее 1,0; 2,5 и 10 мкм (опасными респираторными фракциями) является одним из факторов риска развития респираторных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний. Широкомасштабный оперативный контроль респираторных фракций атмосферного аэрозоля на уровне предельно допустимых концентраций $\cong 30$ мг/л представляет собой важную и сложную задачу [1–3]. Сущность предложенного нами метода основана на времяпролетных измерениях параметров сигналов $U_i(\tau)$ от освещенных низкокогерентным лазерным излучением одиночных частиц, пролетающих в непосредственной близости к приемно – излучающей апертуре A_d оптиковолоконного детектора (ОВД), например, рассмотренного в [4]. При этом плоскость апертуры одиночного сенсора или матрицы ОВД располагают параллельно вектору скорости полета беспилотного летательного аппарата (БЛА).

В общем виде длительность τ_i времяпролетного светового импульса $U_i(\tau)$ от одиночной частицы на выходе ОВД определяется соотношением

$$\tau_i = \tau_{f.i+} + \tau_{f.i-} + \tau_{p.i} = 2\tau_{f.i} + \tau_{p.i} , \quad (1)$$

где $\tau_{f.i+}$, $\tau_{f.i-}$ – длительности переднего и заднего фронтов импульса, обусловленных временами вхождения в зону апертуры A_d и выхода из зоны A_d частицы, соответственно; $\tau_{p.i}$ – время нахождения всей частицы в зоне апертуры A_d

$$\tau_{f.i} = \tau_{f.i+} = \tau_{f.i-} = A_d / \overline{W}_p , \quad (2)$$

$$\tau_{p.i} = (D_{p.i} - A_d) / \overline{W}_p , \quad (3)$$

$$\tau_i = 2A_d / \overline{W}_p + (D_{p.i} - A_d) / \overline{W}_p , \quad (4)$$

где $D_{p.i}$ – линейный размер частицы в направлении вектора скорости направления полета БЛА; \overline{W}_p – воздушная скорость полета БЛА; A_d – диаметр апертуры ОВД, $A_d \leq D_{p.i.min}$.

Определение размеров частиц $D_{p,i}$ из (4) требует знания точной воздушной скорости БЛА $\overrightarrow{W_p}$. Точность непосредственного определения воздушной скорости БЛА с использованием бортовых измерителей воздушной скорости (трубки Пито и т. п.) является недостаточной для реализации высокой точности определения размеров и разделения частиц на респирабельные фракции. В этой связи осуществляется измерение длительностей $\tau_i(k_1)$ и $\tau_i(k_2)$ каждого времяпролетного импульса $U_i(\tau)$ при двух параметрах пороговой дискриминации k_1 и k_2 , удовлетворяющих условию $k_2 = 1 - k_1$.

Результирующие формулы для определения воздушной скорости БЛА W_p и линейных размеров частиц $D_{p,i}$ из формулы (4) (спектр размеров репирабельных частиц) получены нами в виде:

$$W_p = 2A_d (2k_1 - 1) / [\tau_i(k_1) - \tau_i(k_2)]. \quad (5)$$

$$D_{p,i} = \{[\tau_i(k_1) + \tau_i(k_2)] / [\tau_i(k_1) - \tau_i(k_2)]\} A_d (2k_1 - 1). \quad (6)$$

Истинное объемное содержание частиц заданной фракции на дистанции R за время измерения T определяется из уравнения

$$\varphi = \frac{1}{2T} \sum_{i=1}^n [\tau_i(k_1) + \tau_i(k_2)] , \quad (7)$$

где n – число частиц заданного размера $D_{p,i}$, прошедших через измерительную апертуру ОВД A_d за время T при скорости W_p .

Размер апертуры ОВД A_d определяется диаметром сердцевины используемого световода 10 мкм и формирующей короткофокусной линзы с коэффициентом увеличения 5–10. A_d выбирается из условий обеспечения требуемой разрешающей способности и обеспечения наилучшего соотношения сигнал / шум, которое пропорционально отношению размеров частицы с минимальными размерами $D_{p,min}$ и диаметра используемого световода ОВД D_{ce} .

Разработанный метод открывает широкие возможности оперативной малозатратной диагностики микрофизических параметров опасных репирабельных фракций в реальном масштабе времени с БЛА малых классов. Чувствительность – на уровне обнаружения одиночных частиц (счетных концентраций); погрешность определения линейных размеров частиц в диапазоне 1–50 мкм не более 5–7 %.

1. *Моношкина В.Г., Суторихин И.А.* // Оптика атмосферы и океана. 1996. Т. 9. № 06. С. 843–845.
2. *Silva R.A. et al.* // Environmental Research Letters. 2013. Vol. 8, № 3.
3. *Лысенко С.А., Кугейко М.М., Хомич В.В.* // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 1. С. 70–79.
4. *Иванов В.И., Лазарчик А.Н.* // Энергетика и энергоэффективные технологии: Сб. докладов V Междунар. научно – практ. конф. РФ. Липецк. 2012. С. 138 – 140.