

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ МАССОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ РЕСПИРАБЕЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ГОРОДСКОМ ВОЗДУХЕ

М. М. Кугейко, С. А. Лысенко

Белорусский государственный университет, Минск

E-mail: kugeiko@bsu.by

В настоящее время вопросы экологии остро стоят перед жителями всех крупных городов и районов с развитой промышленной деятельностью и интенсивным автотранспортным движением. Серьезную угрозу для здоровья человека представляют взвешенные в воздухе аэрозольные частицы и в первую очередь мелкодисперсные (респирабельные) частицы, способные глубоко проникать в органы дыхательной системы человека и накапливаться в легких.

Существующие оптические анализаторы аэрозольных загрязнений воздуха имеют низкую чувствительность к содержаниям в воздухе мелких и крупных частиц, а также являются слишком дорогостоящими, для того чтобы на их основе можно было создавать автоматизированные сети контроля городского воздуха. С учетом этого нами предложен простой и надежный метод определения массовых концентраций PM_x частиц индустриального аэрозоля с разделением на фракции $X \leq 1$ мкм, $1,5 \leq X < 2,5$ мкм, $2,5 \leq X < 10$ мкм и $X > 10$ мкм. Суть его состоит в следующем. В измерительный объем последовательно посылаются излучения с длинами волн $\lambda_1 \leq 0,55$ мкм и $\lambda_2 \geq 1,0$ мкм. Рассеянный свет улавливается фотоэлементами, установленными под углами $\theta_1 \leq 5^\circ$ и $\theta_2 = 15-45^\circ$ к падающему лучу. По детектируемым сигналам определяются коэффициенты аэрозольного светорассеяния $\beta(\lambda_i, \theta_j)$. Массовые концентрации аэрозольных частиц рассчитываются на основе их устойчивых статистических связей с коэффициентами $\beta(\lambda_i, \theta_j)$. Крупные частицы определяют рассеяние под малыми углами (θ_1), тогда как в боковом рассеянии (θ_2) преобладает вклад более мелких частиц. Поэтому, регистрируя свет, рассеянный под разными углами, можно выполнять анализ фракционного состава аэрозоля. Кроме того точность анализа повышается за счет оптимального выбора длины зондирующего излучения, поскольку наибольшая эффективность светорассеяния соответствует частицам, размер которых близок к длине волны падающего на них излучения. Для получения аналитических выражений, аппроксимирующих связи между PM_x и $\beta(\lambda_i, \theta_j)$, использовалась оптико-микрофизическая модель городского аэрозоля, принятая Всемирной метеорологической организацией, с варьируемыми концентрациями, параметрами распределения по размерам и комплексными показателями преломления частиц аэрозольных компонент (саже-

вой, водорастворимой и пылевой). Показано хорошее согласие статистических связей, получаемых в модельном приближении, с независимыми расчетными и экспериментальными данными.

Погрешности определения PM_X оценивались на основе «тестового» ансамбля реализаций PM_X и $\beta(\lambda_i, \theta_j)$. Восстановление PM_X из $\beta(\lambda_i, \theta_j)$ проводилось с использованием предварительно полученных выражений при наложении на $\beta(\lambda_i, \theta_j)$ случайных отклонений в пределах $\delta\beta$. Восстановленные значения массовых концентраций сравнивались с их точными значениями, соответствующими обрабатываемым коэффициентам $\beta(\lambda_i, \theta_j)$. Абсолютная ΔPM_X и относительная δPM_X погрешности восстановления PM_X , а также коэффициент корреляции между заданными и восстановленными значениями PM_X (ρ_X) приведены в таблице.

Таблица

Оценки точности определения PM_X , соответствующие схеме нефелометрических измерений с $\lambda_1 = 0,355$ мкм, $\lambda_2 = 2,14$ мкм, $\theta_1 = 5^\circ$ и $\theta_2 = 15^\circ$, при погрешностях измерения $\beta(\lambda_i, \theta_j)$, равных $\delta\beta$

X, мкм	$\delta\beta$, %	ρ_X	ΔPM_X , мкг/м ³	δPM_X , %
1,0	0	0,9883	4,13	10,8
	10	0,9823	4,98	13,3
2,5	0	0,9919	4,34	7,9
	10	0,9914	4,66	9,2
10	0	0,9947	4,58	5,3
	10	0,9940	5,13	6,1
>10	0	0,9965	2,96	7,6
	10	0,9835	6,59	14,7

Видно, что данные, получаемые на основе рассматриваемых оптических измерений, обладают высокой информативностью относительно всех экологически значимых фракций аэрозоля, а решение обратной задачи с использованием полученных выражений является устойчивым к погрешностям оптических измерений.

Полученные результаты позволяют говорить о возможности создания простого нефелометрического измерителя загрязненности воздуха с разделением фракций массовых концентраций PM_1 , $PM_{2.5}$, PM_{10} и $PM_{>10}$, удовлетворяющего современным потребностям санитарно-гигиенических и эпидемиологических служб. Возможность массового производства таких датчиков и их низкая стоимость в перспективе позволят построить автоматизированную сеть непрерывного мониторинга загрязнений городского воздуха с выходом всех данных на центральный пульт управления или в Интернет.