

## Повышение достоверности измерений радиоактивных аэрозолей

Д. Е. ФЕРТМАН, А. И. РИЗИН, К. Н. СТАСЬ

*Дан анализ работ в научной и практической метрологии аэрозолей, международной стандартизации в этой области измерений, опыта международного сотрудничества и повышения точности измерений в радиометрии до уровня международных требований.*

*The analysis of work in scientific and practical radioactive aerosol metrology is stated. The questions of international standardization in this area, experience of international cooperation are leading to increase of accuracy of radioactive aerosols measurements in accordance with international requirements.*

Контроль радиоактивных аэрозолей долгоживущих нуклидов в воздухе — один из важнейших факторов обеспечения безопасных условий жизни и работы людей, охраны окружающей среды. Значимость ингаляционного пути поступления радионуклидов в организм особенно увеличивается при возникновении и развитии аварийных ситуаций на радиационно-опасных объектах вследствие распространения радиоактивности с воздушными потоками на значительные расстояния. Это подтверждает международный опыт ликвидации последствий крупных радиационных аварий.

Для обеспечения измерений контрольных уровней безопасности, законодательно установленных в ведущих странах мира, требуется регистрировать всего несколько радиоактивных распадов в секунду в объемах, достигающих десятков и даже сотен кубических метров. Поэтому необходимо предварительно концентрировать дисперсную фазу аэрозоля на фильтрующем материале с последующим измерением активности пробы.

Пространственная и временная нестабильности контролируемой среды, многостадийность процесса измерений в присутствии естественных радиоактивных аэрозолей дочерних продуктов радона и торона (их концентрация в воздухе, как правило, на несколько порядков выше, чем искусственных), а также наличие неактивной пыли и других мешающих факторов приводит к существенным искажениям информации. Погрешности измерений искусственных радиоактивных аэрозолей на практике достигают нескольких десятков процентов, и достоверность измерений наиболее актуальна в данной области.

Department of Energy (США) провел обследование 25 предприятий Ядерного Топливного Цикла США. На них находится в эксплуатации более 40 типов технических средств радиационного контроля аэрозолей, поставленных различными фирмами [1]. Было обнаружено, что:

только на 64 % обследованных предприятий вводятся поправки на поглощение  $\alpha$ -излучения в фильтре, и только на 36 % предприятий — на поглощение  $\beta$ -излучения. Это приводит к дополнительным погрешностям измерений, достигающим 25—50 %, что определено радиохимическими методами;

только на 40 % предприятий учитываются потери при пробоотборе;

на 17 предприятиях происходит до пяти ложных срабатываний в месяц, на трех — от шести до десяти срабатываний, на одном — до 20 ложных срабатываний;

только на 19 из 25 предприятий проводится градуировка средств измерений (СИ) аэрозолей перед их установкой на рабочие места и только на одном учитывают влияние условий окружающей среды (температуры, влажности, давления) на результаты измерений;

отсутствует единая база сравнения. Показания двух разных типов радиометров нередко различаются в несколько раз.

Эти факты вызвали глубокую озабоченность не только в США, но и за ее пределами как среди ведущих поставщиков, так и среди потребителей средств измерений. Было констатируется, что достоверность и точность измерений наряду с научными достижениями определяются и действующей системой метрологического обеспечения в этой области.

На этой волне в 80-е годы специалисты ведущих стран мира, ознакомившись с общими принципами метрологии радиоактивных аэрозолей в нашей стране, как теперь уже повсеместно признано, — наиболее стройной системой, действующей с 1973 г. и базирующейся на государственном специальном эталоне, впервые поставили вопрос о необходимости создания национальных, а в перспективе и международных эталонов радиоактивных аэрозолей. Этот вопрос активно обсуждался специалистами НИЦ СНИИП (Россия), IPSN (Франция), Ливерморской лаборатории (США) на ТК МЭК (IEK) при разработке стандарта 761-6 и нашел отражение в данном, а затем и последующих международных документах, касающихся контроля радиоактивности в воздухе [2—4].

К научным достижениям, оказавшим наиболее существенное влияние на повышение достоверности измерений радиоактивных аэрозолей в мировой практике последних лет, следует отнести новый тип радионуклидных источников (специальных аэрозольных источников (САИ)), разработанных в России [6, 7], которые по своим характеристикам соответствуют рекомендациям МЭК и используются для градуирования и поверки радиометров (мониторов) аэрозолей. Многолетний (с 1973 г.) опыт эксплуатации национального эталона и государственной поверочной схемы России показали, что широко используемые в мировой практике для этих целей образцовые (твердые) источники просты и безопасны при

работе, однако они не могут имитировать особенности аэрозольных проб.

Необходимость сохранения непосредственной связи с эталоном потребовала нового подхода к передаче размера единицы объемной активности искусственных радиоактивных аэрозолей рабочим средствам измерений, который и был реализован при создании САИ.

Специальные аэрозольные источники изготавливают для конкретного типа радиометра, применяя модельные аэрозоли  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$  или  $\text{U}$  естественного изотопного состава и аттестуют (в Бк/м<sup>3</sup>) на государственном специальном эталоне радиоактивных аэрозолей или при помощи образцового радиометра аэрозолей с погрешностью не более 15 %.

Оригинальная технология изготовления источника позволяет учесть особенности пробоотборных коммуникаций конкретного типа радиометра, а также геометрию и условия регистрации излучения радионуклидов в пробе [8]. Эффективность использования САИ в совокупности с другими образцовыми СИ в рамках государственной поверочной схемы, базирующейся на национальном эталоне радиоактивных аэрозолей, оказалась столь высока, что по этому пути пошли и французские специалисты из IPSN-CEA, создав эталон ICARE [5].

Прогресс вычислительных технологий привел к активизации усилий ученых в попытках устранить существенные погрешности и повысить достоверность измерений на одной из наиболее уязвимых стадий оценки радиоактивного загрязнения воздуха — при измерении активности отобранных, «толстых» по своей природе, аэрозольных проб, когда пробег частиц сравним с толщиной пробы.

Стремление построить совершенную модель аэрозольной пробы, в которой сконцентрированы  $\alpha$ -излучатели, всегда волновало физиков-экспериментаторов. Для рассматриваемого случая, связанного с контролем радиоактивных аэрозолей, это особенно принципиально. От решения этого вопроса зависит достоверность результатов измерений. В данной области измерений давно смирились с большими погрешностями, но это не останавливает поток желающих решить проблему (предыдущий всплеск интереса к этой области был в 60—70-х годах) [9—11].

Разработанные авторами динамическая модель, алгоритм и методики измерений для спектрометра на базе ПЭВМ [12] позволили сделать качественный скачок в решении этих вопросов и снизить на 20—40 % погрешность измерений, связанную с поглощением  $\alpha$ -излучения в пробе. Для математического моделирования использован метод наименьших квадратов. Разработан оригинальный способ ускоренной обработки этим методом дифференциальных спектров. Применяемые методы корреляционного анализа, обеспечили высокую надежность результатов [12].

Эффективность созданной модели и методик подтвердилась в процессе международного сличения «темных» аэрозольных проб [12].

В результате сотрудничества между НИЦ СНИИП Минатома (Россия) и IPSN-CEA (Франция) был изготовлен ряд аэрозольных проб определенного нуклидного состава. В Росаэрозоли осаждали на фильтры на оборудовании для изготовления специальных аэрозольных источников ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$ ,  $\text{U}$  естественный), во Франции на установке ICARE ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Были выполнены независимые взаимные измерения активности этих проб.

Для всех образцов измерения в НИЦ СНИИП проводили относительными методами, базирующимися на описанной модели, в IPSN-CEA — абсолютными методами. Значения активностей оказались близки и не выходили за пределы погрешностей. Результаты взаимных измерений представлены в таблице.

Полученные данные позволили повысить точность измерений до уровня международных требований (погрешность измерений не должна превышать  $\pm 20\%$ ) [2—4] и успешно провести при помощи российских САИ градуировку французского монитора RAD-AIP (MGP), который постоянно работал

Радионуклид	Фильтр	Изготовитель	НИЦ СНИИП Относительные измерения, Бк	CEA-Saclay GEOIP-LMRI-LAN Абсолютные измерения, Бк
$^{239}\text{Pu}$	№ 1	НИЦ СНИИП	927±46	960±15
$^{239}\text{Pu}$	№ 2	—»—	246±12	262±11
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	№ 1	—»—	250±13	246,0±6
$^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$	№ 2	—»—	163±8	156,0±4
U natural	№ 1	—»—	22,0±6	29,5±0,7
U natural	№ 2	—»—	54,0±14	65,9±4
$^{239}\text{Pu}$	A04	IPSN-ICARE	1,6±0,2	1,3±0,3
$^{239}\text{Pu}$	A4	—»—	22±2	20,5±3
$^{137}\text{Cs}$	B04	—»—	130±10	132±4
$^{137}\text{Cs}$	B4	—»—	250±13	264±16

с октября 1994 по ноябрь 1995 гг. в рамках российско-французской программы «Непрерывное измерение радиоактивности в воздухе Брянской области (г. Новозыбков, Россия)» [14].

В заключение необходимо отметить, что достигнутые результаты отражают новое качество измерений и новый уровень международного сотрудничества в практической метрологии — той области, где работают авторы. Безусловно эти результаты нельзя было бы получить без соответствующего прогресса в системе государственного метрологического обеспечения радиометрии аэрозолей и, прежде всего, в государственном специальном эталоне радиоактивных аэрозолей, хранителем которого является НПО ВНИИФТРИ Госстандарта России.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Swith K. L., Kenoyer J. L., Selby J. M. // Trans. Amer. Nucl. Soc. — 1988. — V. 55. — P. 65.
- IEC 761-6. First edition, 1991. Equipment for continuously monitoring radioactivity in gaseous effluents. Part 6: Specific requirements for transuranic aerosol effluent monitors.
- Test methods for the calibration and verification of the effectiveness of radon compensation for and/or aerosol measuring instruments / Draft International Standard & Project number 45 B. 35.1. — Kyoto, Japan, Sept. 1993.
- IEC 1172. First edition, 1992. Equipment for Radioactive Aerosol in the Environment.
- Ammerich M. Realisation d'une installation d'etalonnage de moniteurs de contamination atmospherique a l'aide d'aerosols radioactifs calibres (ICARE). — Rapport CEA-R-5484, 1989.
- Fertman D. E. e. a. // J. Aerosol Science: Special Issue Proc. Europ. Aerosol Conf. — 1991. — P. 801.
- Белкин С. К., Залманзон Ю. Е., Фертман Д. Е. // Измерительная техника. — 1984. — № 5. — С. 56.
- А. с. 1096968 СССР / Д. Е. Фертман и др. // Открытия. Изобретения. — 1986. — № 45.
- Григоров В. П. Приближенный метод расчетов спектров альфа-излучения толстых излучателей / Информ. бюл. ГК по атомной энергии СССР. — М., 1965. — № 44.
- Бадьин В. И. и др. Радиометрия и идентификация альфа-активных изотопов «толстых» аэрозольных проб // Тр. СНИИП. — М., 1969. — № 38. — С. 27.
- Hosoe M. e. a. // Nucl. Instruments and Methods. — 1984. — V. 223. — P. 377.
- Ризин А. И. Комплекс методических, аппаратурных и программных средств для моделирования и определения активности «толстых» аэрозольных средств: Автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. — М., 1995.
- Charuan J., Crivaud L., Fauvel S. (IPSM, France), Fertman D., Seldiakov Y. (SEC SNIIP, Russia) // Abstracts Europ. Aerosol Conf.: J. of Aerosol Science. — May 1994. — V. 25. — Suppl. 1. — P. 253.
- Fertman D. E. e. a. // Abstracts Inter. Aerosol Simp. (IAS—2). — Moscow, July 1995. — N 1. — P. 69.