ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТИПОВОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

К.Ю. Колыбанов^{1,@}, Р.Е. Кузин², С.С. Писаненко², Т.Н. Таиров³

¹МИРЭА – Российский технологический университет (Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова), Москва 119571, Россия

²АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», предприятие Госкорпорации «Росатом», Москва 115409, Россия

³Санкт-Петербургский филиал АНО ДПО «Техническая академия Росатома», Санкт-Петербург 197348, Россия

@ Автор для переписки, e-mail: cyrk@mail.ru

Информационно-аналитическая система радиационного контроля разработана на основе существующих методик и аппаратно-программных средств измерений с целью систематизации, хранения и обработки результатов анализа проб образцов исследуемых сред, разнообразных по составу и происхождению. При исследовании большого потока проб экологического мониторинга различных территорий и технологических проб производственных и научных подразделений, наиболее сложной остается задача обеспечения требуемой точности расчета активностей и погрешностей в минимально детектируемой области.

Аппаратное обеспечение информационной системы включает совокупность приборов, предназначенных для измерения активности образцов, и локальную вычислительную сеть. Серверная часть программного комплекса включает клиент-серверную систему управления базами данных и веб-приложение по администрированию базы данных. Клиентская часть программного комплекса, помимо стандартных программ, входящих в комплект поставки радиометрического оборудования, включает программу «ОДРА» (Обработка Данных Радиационного Анализа), разработанную на объектно-ориентированном языке С# в среде разработки Microsoft Visual Studio. В программу «ОДРА» включены модули для расчета удельной (объемной) активностей радионуклидов в материалах и объектах окружающей среды для низкоактивных образцов, а также для расчета относительной и абсолютной погрешности определения активности. Программа обладает удобным графическим интерфейсом для работы с базой данных.

Информационная система испытательной лаборатории радиационного контроля предприятия, проводящего работы с радиоактивными материалами, прошла четырехлетнюю апробацию в режиме опытно-промышленной эксплуатации в АО «ВНИИХТ» в 2014–2017 гг. и позволяет значительно сократить время обработки результатов определения радиоактивности технологических и экологических проб и снизить фактор ошибки оператора.

Ключевые слова: контроль радионуклидного состава, информационная система, информационная безопасность, локальная вычислительная сеть.

DOI: 10.32362/2410-6593-2018-13-4-74-80

INFORMATION SYSTEM OF TESTING LABORATORY FOR RADIATION CONTROL

K.Yu. Kolybanov^{1,@}, R.E. Kuzin², S.S. Pisanenko², T.N. Tairov³

¹MIREA – Russian Technological University (M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies), Moscow 119571, Russia

²JSC “All-Russian Research Institute of Chemical Technology”, Enterprise of State Corporation “Rosatom”, Moscow 115409, Russia

³St. Petersburg branch of ANO AVE “Technical Academy of Rosatom”, St. Petersburg 197348, Russia

@ Corresponding author e-mail: cyrk@mail.ru

Development of information-analytical system of radiation control is based on existing methods and hardware-software measuring instruments for the purpose of systematizing, storing and processing the results of analysis of samples of various composition and origin. Studying a large flow of environmental and technological samples includes the most difficult task to ensure the required accuracy of calculation of activities and errors, especially at low activities levels at the threshold of detectable area.

The information system hardware includes a set of devices designed to measure the activity of the samples, and a local computer network. The server part of the software package includes a client-server database management system and a web application for database administration. In addition to the standard programs included in the delivery of radiometric equipment the client part of the software package includes the program "ODRA", developed using object-oriented language C# in Microsoft Visual Studio. The program "ODRA" includes modules for calculating the specific (volumetric) activity of radionuclides in low-active samples of materials and environmental objects, as well as for calculating the relative and absolute error of activity determination. The program has a convenient graphical user interface for database communication.

The information system of the radiation testing laboratory of the enterprise that conducts work with radioactive materials has undergone a four-year approbation in the experimental production mode at VNIИХТ in 2014–2017 and can significantly reduce the processing time of the results of determining the radioactivity of technological and environmental samples and reduce the operator error factor.

Keywords: control of radionuclide composition, information system, information security, local area network.

Введение

Во исполнение законов РФ «Об охране окружающей среды» и «Об атомной энергии» исследованием радионуклидного состава разнообразных проб¹ в нашей стране и за рубежом занимаются испытательные лаборатории радиационного контроля (ИЛРК), аккредитованные на компетентность и независимость государственными органами. ИЛРК стали типовыми подразделениями на многих научно-исследовательских и производственных предприятиях атомной, металлургической, газовой, химической, нефтехимической, судостроительной и других отраслей промышленности [1]. Основные научно-технические решения по созданию информационной системы для типовой ИЛРК рассмотрены на примере Ведущего научно-исследовательского института химической технологии Госкорпорации «Росатом» (далее ИЛРК ВНИИХТ). ИЛРК ВНИИХТ имеет такую аккредитацию с 2001 года. Область аккредитации ИЛРК ВНИИХТ – определение радиоактивности элементов атмосферы, гидросферы, литосферы, сточных вод, строительных материалов, минерального сырья, твердых и жидких технологических материалов, отходов производства.

В связи с выполнением крупномасштабных исследований, связанных с большим потоком проб образцов исследуемых сред, разнообразных по составу

и происхождению [2], с целью хранения, систематизации, обработки данных исследований сотрудниками ИЛРК ВНИИХТ была разработана информационно-аналитическая система радиационного контроля (ИАС) на основе существующих методик и аппаратно-программных средств измерений [3]. При исследовании большого потока проб экологического мониторинга различных территорий [4, 5] и технологических проб производственных и научных подразделений наиболее сложной остается задача обеспечения требуемой точности расчета активностей и погрешностей в минимально детектируемой области.

Методы определения активностей радионуклидов

Характерными методами инструментального анализа в сфере радиационных измерений, реализуемых типовой ИЛРК, являются:

- гамма-спектрометрический;
- альфа-спектрометрический и (или) радиометрический методы с предварительной радиохимической пробоподготовкой [6].

Гамма-спектрометрический метод определяет активность всех гамма-излучающих радионуклидов в измеряемом образце [7]. При использовании радиохимического метода проводится химическое выделение определенного радионуклида по утвержденным методикам, позволяющее отделить его от других радионуклидов и примесей, которые могут исказить

¹Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.

результаты расчетов. Измерение радиоактивности с предварительной радиохимической подготовкой превосходят по чувствительности все другие методы, и поэтому его использование при анализе проб экологического мониторинга наиболее эффективно [8].

Информационно-аналитическая система радиационного контроля

Аппаратурный комплекс ИАС включает в себя совокупность приборов, предназначенных для измерений образцов – это альфа- и гамма-спектрометры, счетное радиометрическое оборудование, а также электронно-вычислительное оборудование, объединенное в локальную вычислительную сеть [9].

Лаборатория имеет ряд аттестованных методик выполнения измерений активности различных радионуклидов как радиохимическими методами (U-234, U-235, U-238, Th-230, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Sr-90, Po-210, Pb-210), так и неразрушающим гамма-спектрометрическим методом (Am-241, Cs-134, Cs-137, Co-60, Np-237, Pb-210, Ra-228, Ra-226, Th-228, Th-234, Ac-228, Ac-227, K-40). Методики определяют условия выполнения измерений, метод и алгоритм измерения радионуклидов, а также диапазоны измерений и погрешности.

Программный комплекс ИАС можно подразделить на серверную и клиентскую часть.

Серверная часть включает в себя клиент-серверную систему управления базами данных (СУБД) – MySQL [10] и веб-приложение по администрированию базы данных phpMyAdmin. В базе данных хранится информация о заказчиках, поступающих пробах, результатах измерений, приборах, компетенциях сотрудников лаборатории.

Клиентская часть состоит из комплекса программ для α -, β - и γ -измерений (Spectraline GP, Spectraline ADA, UMS) [11, 12] и программы «ОДРА» (Обработка Данных Радиационного Анализа), разработанной на объектно-ориентированном языке C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2010 [13]. В программу «ОДРА» включены модули для расчетов активностей в образцах и погрешностей. Она обладает удобным графическим интерфейсом для работы с базой данных.

Некоторые алгоритмы и данные, используемые в методиках определения активностей в образцах, реализует программное обеспечение по обработке спектров. Однако в измерениях низкоактивных проб с предварительной радиохимической подготовкой программы не в состоянии описать пики поглощения определяемых радионуклидов и корректно рассчитать активности с погрешностями по встроенному алгоритму обработки спектров (см. рис. 1). В связи с этим был написан модуль расчета для низкоактивных проб с графической оболочкой и встроен в программу «ОДРА» (см. рис. 2).

Рис. 1. Блок-схема алгоритма обработки спектров в программах для α - и γ -измерений.

Рис. 2. Экранная форма расчетного программного модуля активностей радионуклидов и погрешностей в пробах α-спектрометрии и β-радиометрии.

Расчет активности и погрешностей измерений для низкоактивных образцов

Внедренный в ИАС новый вычислительный программный модуль осуществляет расчет удельной (объемной) активности радионуклидов в материалах и объектах окружающей среды для низкоактивных образцов.

Рассмотрим вычисление удельной (объемной) активности и погрешностей измерений:

Активность (A_x , Бк) определяемого радионуклида в навеске вычисляют по формуле:

$$A_x = A_m \frac{n_x - n_{fx} - n_{prx}}{n_m - n_{fm}}$$

где A_m – активность нуклида метки, внесенная в пробу, Бк (из протокола изготовления счетного образца);

n_x – суммарная скорость счета от образца в пике определяемого нуклида, c^{-1} ;

n_{fx} – скорость счета собственного фона спектрометра в пике определяемого нуклида, c^{-1} ;

n_{prx} – скорость счета, в пике определяемого нуклида, обусловленная примесью определяемого нуклида в метке, c^{-1} ;

n_m – суммарная скорость счета от образца в пике основного нуклида метки, c^{-1} ;

n_{fm} – скорость счета собственного фона спектрометра в пике метки, c^{-1} .

Значения величин n_{fx} и n_{fm} , а также эффективности приборов определяют периодически в соответствии с инструкцией по эксплуатации альфа-спектрометра, используя фоновые спектры. Программа позволяет редактировать и хранить фоновые значения и эффективности приборов (см. рис. 3). Данные сохраняются в отдельных файлах с расширением .conf при нажатии на кнопку «Сохранить изменения», тем самым упрощая хранение и редактирование этих значений.

Рис. 3. Экранная форма настройки спектрометров в расчетнике активностей и погрешностей радионуклидов для α-спектрометрии и β-радиометрии.

Скорость счета, обусловленная примесью определяемого нуклида урана в метке, вычисляется по формуле:

$$n_{\text{пр}} = (n_{\text{м}} - n_{\text{фм}}) \Pi_x,$$

где Π_x – доля активности определяемого нуклида от активности основного нуклида метки (из свидетельства).

Относительную случайную погрешность определения активности нуклидов урана в навеске или аликвоте S_{Ax} вычисляют по формуле:

$$S_{Ax} = \sqrt{S_{Nm}^2 + S_{Nx}^2},$$

где S_{Nm} – погрешность измерения числа импульсов в пике основного нуклида метки;

S_{Nx} – погрешность измерения числа импульсов в пике определяемого нуклида.

Относительные погрешности измерения числа импульсов в пиках нуклидов урана вычисляют по формулам:

$$S_{Nm} = t^{-1/2} \frac{\sqrt{n_{\text{м}} + n_{\text{фм}}}}{(n_{\text{м}} - n_{\text{фм}})}$$

$$S_{Nx} = t^{-1/2} \frac{\sqrt{(n_{\text{м}} + n_{\text{фм}} + n_{\text{пр}})}}{(n_{\text{м}} - n_{\text{фм}} - n_{\text{пр}})},$$

где t – время набора спектра, с.

Относительную случайную погрешность определения активности нуклидов урана в пробе при $P = 0.95$ и двух измерениях вычисляют по формуле:

$$\varepsilon_x = 1.96 \frac{S_{Ax}}{\sqrt{2}}$$

Относительную суммарную неисключаемую систематическую погрешность вычисляют по формуле:

$$\theta = 1.1 \sqrt{\theta_{\text{м}}^2 + \theta_{\text{в}}^2 + \theta_{\text{р}}^2},$$

где $\theta_{\text{м}}$ – погрешность активности радионуклида метки (из свидетельства), отн. ед.;

$\theta_{\text{в}}$ – погрешность измерения объема внесенного образцового радиоактивного раствора (ОРР);

$\theta_{\text{р}}$ – погрешность разбавления ОРР.

Погрешности $\theta_{\text{в}}$ и $\theta_{\text{р}}$ вычисляются по формулам:

$$\theta_{\text{в}} = \Delta_{V_{\Pi}} / V_{\Pi} \text{ и } \theta_{\text{р}} = \Delta_{V_K} / V_K,$$

где $\Delta_{V_{\Pi}}$ – погрешность измерения объема аликвоты, для пипеток второго класса точности в соответствии с ГОСТ 29227-91, см³;

V_{Π} – объем аликвоты, отобранной пипеткой, см³;

Δ_{V_K} – погрешность измерения объема рабочего раствора, приготовленного из ОРР, для мерных колб второго класса точности в соответствии с ГОСТ 1770-74, см³;

V_K – объем рабочего раствора в мерной колбе.

Далее вычисляются **значения доверительных границ относительной погрешности результата измерений активности при $P = 0.95$:**

$$\delta_x = \sqrt{\varepsilon_x^2 + \theta^2}$$

Удельную активность нуклидов урана в твердых пробах A_{xm} (Бк/г) вычисляют по формуле:

$$A_{xm} = A_x / m,$$

где m – масса навески, г.

Объемную активность нуклидов урана в жидких пробах A_{xv} (Бк/л) вычисляют по формуле:

$$A_{xv} = A_x / V,$$

где V – объем аликвоты, взятой на анализ, л (если проводилась операция выпаривания, то V – объем пробы перед выпариванием).

Относительная суммарная погрешность определения удельной или объемной активности нуклидов урана $\delta_{\Sigma m}$ и $\delta_{\Sigma v}$ рассчитывается как:

$$\delta_{\Sigma m} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_m^2} \text{ и } \delta_{\Sigma v} = \sqrt{\delta_x^2 + \theta_v^2},$$

где δ_x – относительная погрешность измерения активности нуклидов урана в пробе;

θ_m, θ_v – относительные неисключаемые систематические погрешности определения массы и объема пробы, соответственно.

Абсолютную доверительную погрешность результата измерения удельной или объемной активности рассчитывают по формулам:

$$\Delta_{\Sigma m} = \delta_{\Sigma m} A_m \text{ или } \Delta_{\Sigma v} = \delta_{\Sigma v} A_v$$

Заключение

С целью существенного повышения эффективности ИЛРК была разработана информационно-аналитическая система радиационного контроля (ИАС) на основе существующих методик и аппаратурно-программных средств измерений. В информационно-аналитической системе реализована обработка несколькими математическими методами получаемых в измерительном оборудовании спектров.

На основе информационных технологий проведено объединение всех технических, методических и программных средств лаборатории радиационного контроля в единую информационно-аналитическую систему, что обеспечивает существенное по-

вышение конкурентоспособности, метрологических показателей и производительности.

ИАС прошла четырехлетнюю апробацию в режиме опытно-промышленной эксплуатации в АО «ВНИИХТ» в 2014–2017 годах.

Список литературы:

References:

1. Соболев А.И., Лузин А.И. Единая информационно-аналитическая система радиационной экологической безопасности // Безопасность окружающей среды. 2010. № 1. С. 56–60.
2. Коренков И.П., Шандала Н.К., Лашченкова Т.Н., Соболев А.И. Защита окружающей среды при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно-опасных объектов. М.: БИНОМ, 2014. 440 с.
3. Колыбанов К.Ю. Основы построения корпоративных информационных систем экологического мониторинга предприятий химического профиля // Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. № 9. С. 103–105.
4. Панарин В.М., Горюнкova А.А., Телегина Н.А., Белоусов А.А. Математическое описание информационной системы мониторинга загрязнения атмосферы // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 3 (105). С. 25–28.
5. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 286 с.
6. Карпов Ю.А., Савостин А.П. Методы пробоотбора и пробоподготовки. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. 243 с.
7. Бушуев А.В., Петрова Е.В., Кожин А.Ф. Практическая гамма-спектрометрия: Учебное пособие. М.: МИФИ, 2006. 124 с.
8. Кожин О.В., Кузин Р.Е., Могирев А.М., Прокочик В.И. Автоматизированная информационно-аналитическая система радиационного контроля для решения задач реабилитации территорий, загрязненных радионуклидами / ВНИИХТ – 60 лет: Юбилейный сборник трудов. М.: ООО «Леонардо-дизайн», 2011. С. 421–425.
9. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. М.: МГТУ, 2003. 200 с.
10. Колыбанов К.Ю., Корнющко В.Ф. Системный подход к разработке хранилища данных химико-технологических характеристик процессов переработки и кондиционирования радиоактивных отходов // Химия и хим. технология. 2008. Т. 51. № 7. С. 217–220.
11. Даниленко В.Н., Ковальский Е.А. ЛРСМ – Алгоритмические основы. ООО «ЛРСМ», 2007. С. 6–8.
12. Даниленко В.Н., Скубо Ю.В. Пакет программного обеспечения «Контейнер». Расчет коэффициентов ослабления. Руководство пользователя. ООО «ЛРСМ», 2007. С. 4–6.

1. Luzin V.I., Sobolev A.I. Joint information-analytical system of radio ecological safety. Bezopasnost' okruzhayushchej sredy (Environmental Safety). 2010; (1): 56-60. (in Russ.)
2. Korenkov I.P., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Sobolev A.I. Environment protection during operation and decommissioning of radiation-hazardous facilities. Moscow, BINOM Publ., 2014. 440 p. (in Russ.)
3. Kolybanov K.Yu. Fundamentals of development of corporate information systems for environmental monitoring of chemical enterprises. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya (Chemistry and Chemical Technology). 2008; 51(9): 103-105. (in Russ.)
4. Panarin V.M., Goryunkova V.A., Telegina N.A., Belousov A.A., Panarin V.M. Mathematical definition of information system for atmosphere pollution monitoring. Vestnik kompyuternykh i informatsionnykh tekhnologij (Bulletin of Computer and Information Technologies). 2013; № 3(105): 25-28. (in Russ.)
5. Sapozhnikov Yu.A., Aliev R.A., Kalmykov S.N. Environmental radioactivity. Moscow: BINOM Publ., 2006. 286 p. (in Russ.)
6. Karpov Yu.A., Savostin A.P. Sampling and sampling preparation methods. Moscow: BINOM Publ., 2003. 243 p. (in Russ.)
7. Bushuev A.V., Petrova E.V., Kozhin A.F. Practical gamma-ray spectrometry. Moscow: MIFI Publ., 2006. 124 p. (in Russ.)
8. Kozhin O.V., Kuzin R.E., Mogirev A.M., Prokopchik V.I. Automated information and analytical system of radiation monitoring for solving problems of rehabilitation of territories contaminated with radionuclides. ARRICT – 60 years: Jubilee collection of works. Moscow: Leonardo-design Publ., 2011. P. 421-425. (in Russ.)
9. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer networks. Moscow: MGGU Publ., 2003. 200 p. (in Russ.)
10. Kolybanov K.Yu., Kornushko V.F., Kuzin R.E. Systematic approach to the development of a data warehouse for chemical and technological characteristics of radioactive waste processing and conditioning. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya (Chemistry and Chemical Technology). 2008; 51(7): 217-220. (in Russ.)
11. Danilenko V.N., Kovalsky E.A. LRSM – Algorithmic bases. LLC "LRSM" Publ., 2007. P. 6-8. (in Russ.)
12. Danilenko V.N., Skubo V.V. Software Package "Container". Calculation of attenuation coefficients.

13. Прайс Д., Гандэрлой М. Visual C#. Полное руководство. СПб.: КОРОНА принт, 2004. 960 с.

User guide. LLC "LRSM" Publ., 2007. P. 4-6. (in Russ.)

13. Price D., Ganderloy M. Visual C#. Complete guide. St. Petersburg: KORONA print Publ., 2004. 960 p. (in Russ.)

Об авторах:

Колыбанов Кирилл Юрьевич, заведующий кафедрой информационных систем в химической технологии Института тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119571, Россия, Москва, пр. Вернадского, д. 86).

Кузин Рудольф Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», предприятие Госкорпорации «Росатом» (115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, д. 33).

Писаненко Сергей Сергеевич, кандидат технических наук, научный сотрудник АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии», предприятие Госкорпорации «Росатом» (115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, д. 33).

Таиров Таир Надырович, кандидат технических наук, проректор-директор Санкт-Петербургского филиала АНО ДПО «Техническая академия Росатома» (197348, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аэродромная, 4, литер А).

About the authors:

Kirill Yu. h Kolybanov, Head of the Chair of Information Systems in Chemical Technology, M.V. Lomonosov Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University (86, Vernadskogo pr., Moscow 119571, Russia).

Rudolf E. Kuzin, D.Sc. (Eng.), Professor, Head Researcher of JSC “All-Russian Research Institute of Chemical Technology”, Enterprise of State Corporation “Rosatom” (33, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia).

Sergey S. Pisanenko, Ph.D. (Eng.), Researcher of Testing Laboratory for Radiation Control, JSC “All-Russian Research Institute of Chemical Technology”, Enterprise of State Corporation “Rosatom” (33, Kashirskoe shosse, Moscow 115409, Russia).

Tair N. Tairov, Ph.D. (Eng.), Vice-rector-Director of the St. Petersburg branch of ANO AVE “Technical Academy of Rosatom” (4, Aerodromnaya st., St. Petersburg 197348, Russia).

Для цитирования: Колыбанов К.Ю., Кузин Р.Е., Писаненко С.С., Таиров Т.Н. Информационная система типовой испытательной лаборатории радиационного контроля // Тонкие химические технологии / Fine Chemical Technologies. 2018. Т. 13. № 4. С. 74–80.

For citation: Kolybanov K. Yu., Kuzin R. E., Pisanenko S. S., Tairov T. N. Information system of testing laboratory for radiation control. *Tonkie khimicheskie tekhnologii / Fine Chemical Technologies*. 2018; 13(4): 74-80. (in Russ.)