

# ПОДХОДЫ К КАТЕГОРИЗАЦИИ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

## APPROACHES TO CATEGORISATION OF IONISING RADIATION SOURCES

И.П. КОРЕНКОВ, *к.т.н., д.б.н.*,  
В.В. ВЕРБИЦКИЙ,  
Т.Н. ЛАЩЕНОВА, *к.х.н., д.б.н.*,  
В.П. ДОЛГИХ  
(ГУП МосНПО «Радон»)

I.P. KORENKOV, *Candidate of Technical Science,*  
*Doctor of Biological Science,*  
V.V. VERBITSKY,  
T. N. LASCHENOVA, *Candidate of Chemical Science,*  
*Doctor of Biological Science,*  
V.P. DOLGIKH  
(SUE SIA Radon Moscow)

■ Категорирование является важным этапом последующего регулирующего контроля. Учет изменений с течением времени характеристик радионуклидных источников при категоризации по потенциальной радиационной опасности позволяет оптимизировать их размещение на хранение и более рационально использовать объемы хранилищ.

■ Categorisation is an important step toward subsequent regulatory control. By taking into account the changes that occur over time in the characteristics of radionuclide sources during categorisation by potential radiation hazard, storage can be optimised and more rational usage of storage space can be achieved.

### РЕКОМЕНДАЦИИ МАГАТЭ

Вопросы безопасности и сохранности источников ионизирующего излучения (ИИИ), предотвращения радиационных аварий вызывают озабоченность мировой общественности. В связи с этим в начале 1990-х годов МАГАТЭ приняло ряд мер. В сотрудничестве с другими организациями был разработан документ «Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками ионизирующего излучения» (ОНБ). В поддержку его осуществления был организован модельный проект по совершенствованию инфраструктуры радиационной защиты, в реализации которого приняли участие государства-члены МАГАТЭ. В 1998 году МАГАТЭ разработало международный План действий по безопасности и сохранности источников излучения, пересмотренный в 2000 году. Результатом этой работы стало появление первой Категоризации источников излучения и Кодекса поведения по обеспечению безопасности и сохранности радиоактивных источников, изданного МАГАТЭ в 2004 году. С политическими обязательствами по поддержке этого кодекса и заявлениями о намерениях осуществлять работу по соблюдению его руководящих принципов выступили 72 государства, включая Россию.

В кодексе МАГАТЭ потребовало от стран-участниц разработки общей системы категоризации ИИИ, которая должна базироваться на логической и прозрачной методологии, позволяющей обеспечить гибкость системы для применения в возможно более широком диапазоне видов деятельности. Все последующие документы МАГАТЭ по безопасности и сохранности источников в той или иной форме развивают отдельные положения этого документа.

В развитие положений кодекса МАГАТЭ разработано технические документы, устанавливающие соответствие между активностью радионуклида и категорией

### IAEA RECOMMENDATIONS

The issues of safety and security of sources of ionising radiation and prevention of radiation accidents have been of growing concern to the international community. In that connection, the IAEA implemented a range of measures in the early 1990s. In co-operation with a number of other organisations, the document "International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources" was issued. It was supported by the implementation of pilot project on upgrading the radiation protection infrastructure, in which many member nations of the IAEA took part. In 1998, the IAEA developed the "Action Plan on the Safety and Security of Radiation Sources", which was revised in 2000. The result of that effort was the first "Categorisation of radiation sources" and the "Code of Conduct on the Safety and Security of Radioactive Sources", issued by the IAEA in 2004. Political pledges to support the Code and intentions to work to observe its guiding principles were declared by 72 nations, including Russia.

The IAEA Code demanded that the member states develop a common system for categorisation of sources of ionising radiation, based on a transparent and logical methodology, and capable of being flexibly used in a potentially wider range of applications. All subsequent IAEA documents related to safety and security of radiation sources work in one form or another to elaborate on the provisions of that document.

In order to further develop on the provisions of the Code, the IAEA produced a number of technical documents that identify correspondence between the level of activity of a radionuclide and the category of its potential threat to humans, and recommended several safety codes to its member nations (IAEA Safety Standards Series GS-R-1. Vienna, 2003; Categorization of Radioactive Sources Safety Guide RS-G-1.9. Vienna, 2005; Dangerous

его потенциальной опасности для человека, и рекомендовало всем государствам-членам нормы по безопасности (Серия норм МАГАТЭ по безопасности № GS-R-1. Вена, 2003; Категоризация радиоактивных источников. Серия норм МАГАТЭ по безопасности № RS-G-1.9. Вена, 2005; Dangerous quantities of radioactive material (D-values), Emergency Preparedness and Response Series. EPR-D-VALUES. Vienna, 2006).

На этой основе созданы документы МАГАТЭ, в которых предложено относительное ранжирование радиоактивных источников и видов деятельности по пяти категориям потенциальной радиационной опасности (Categorization of radioactive sources. IAEA-TECDOC-1344. Vienna, 2003; Security of radioactive sources. IAEA-TECDOC-1355. Vienna, 2003). При этом источники первой категории являются потенциально наиболее опасными, а пятой категории – не опасными. Для каждой категории рассмотрены пороговые значения активностей (D-величин) различных радионуклидов. Если категория конкретного ИИИ (типа источника) установлена, то она остается постоянной, независимо от того, в какой стране и в каком виде практической деятельности этот источник используется. Это дает возможность унифицировать и оптимизировать требования по обеспечению радиационной безопасности и сохранности радионуклидных источников для всех категорий опасности. Предложенная МАГАТЭ категоризация распространяется только на закрытые радионуклидные источники.

### РОССИЙСКАЯ НОРМАТИВНО-ПРАВОВАЯ БАЗА

Внедрение подходов МАГАТЭ в практику регулирования безопасности на объектах атомной энергетики и народного хозяйства является важной задачей для России.

При анализе существующей нормативно-правовой документации РФ, которая исторически разрабатывалась разными органами государственного контроля и регулирования, выявились несоответствия в классификации радиационных объектов по потенциальной опасности, из-



Герметичная металлическая капсула для ИИИ с долгоживущими  $\alpha$ -излучателями  
A sealed metallic capsule for SIRs that contain long-lived  $\alpha$ -emitters

quantities of radioactive material (D-values), Emergency Preparedness and Response Series. EPR-D-VALUES. Vienna, 2006).

On that basis, a number of IAEA documents were written that propose a method of relative “ranking” of radioactive sources and activities by five categories of potential radiation danger (Categorisation of radioactive sources. IAEA-TECDOC-1344. Vienna, 2003; Security of radioactive sources. IAEA-TECDOC-1355. Vienna, 2003). The waste regarded as category one is considered to be potentially the most dangerous, with category five waste to be free of danger. For each category, threshold activity levels are considered (D-values) for the various radionuclide. If the category of a specific source of ionising radiation (sources type) has been determined once, it shall stay the same regardless of in what country and for what practical application the source is being used. This enables unification and optimisation of requirements to radiation safety and security of radionuclide sources for all categories of danger. The categorisation proposed by the IAEA only applies to enclosed radionuclide sources.

### RUSSIAN LEGISLATION AND REGULATIONS

Introduction of IAEA approaches into the practice of safety regulation on nuclear sites and in nuclear economic activities is an important objective that Russia currently pursues.

Analysis of existing Russian legislation and regulations, which were historically developed by different authorities and regulators, has revealed inconsistencies in the classification of radiation objects by level of potential danger, as described in clause 3.1 of OSPORB-99, and as proposed by the IAEA approach to categorisation of radionuclide sources.

According to the Russian code OSPORB-99, all radiation objects that incorporate or use radionuclide sources are divided into four categories depending on their level of potential danger. The objective of the categories is to provide a means for comparing radiation objects and radionuclide sources that differ in their complexity and purpose. Russia's main sanitary regulations cover a wider range of objects and events that may occur to them, than the IAEA documents. The absence of specific methodologies has often led to subjectivism in categorisation of radiation objects that chiefly fall within one (third of the five) of the IAEA-proposed categories.

In addition to that, there is also a certain problem of terminology. Different Russian codes use different terms applicable to the same notions. The notion of source of ionising radiation is applied very widely, including both to objects that use radioactive substances, or devices that emit or can emit ionising radiation, and to the sources of ionising radiation proper. A radiation source may be natural or man-made, produced for a useful economic purpose or as a by-product. An enclosed source of ionising radiation is one whose design prevents dissemination of the contained radionuclides into the environment as a result of its intended use or permissible extent of wear. When an open source of ionising radiation is used, release of radionuclides it contains into the environment becomes possible. Any radiation object can essentially be regarded as a source of ionising ra-

ложенной в п.3.1 ОСПОРБ-99, и предлагаемой МАГАТЭ категоризации радионуклидных источников.

Согласно российскому документу ОСПОРБ-99 все радиационные объекты, в составе которых имеются или применяются радионуклидные источники, подразделяются на четыре категории по потенциальной опасности. Эти категории предназначены для сопоставления между собой различных по сложности и назначению радиационных объектов и радионуклидных источников. Российские основные санитарные правила охватывают более широкий спектр объектов и событий на них, чем документы МАГАТЭ. Отсутствие конкретных методических разработок неизбежно приводило к привнесению субъективных оценок в категоризацию радиационных объектов, которые соотносятся в основном с одной (третьей из пяти) предложенной МАГАТЭ категорией.

Кроме того, существует определенная проблема в терминологии. В различных российских документах применяются разные термины по отношению к одним и тем же понятиям. Понятие ИИИ широко распространено и применяется как к объектам, использующим радиоактивные вещества, или устройствам, испускающим или способным испускать ионизирующее излучение, так и конкретно к источникам ионизирующих излучений. Источник излучения может быть природным или техногенного происхождения, специально созданным для полезного применения или являющимся побочным продуктом. Закрытый ИИИ – источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан. При использовании открытого ИИИ возможно поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду. Любой радиационно-опасный объект также можно отнести к ИИИ. При характеристике объектов используются термины «источники ионизирующего излучения» (ИИИ) и «радионуклидные источники» (РНИ), «радиоактивные вещества» (РВ) и «радиоактивные отходы» (РАО).

Ростехнадзор издал в развитие существующих новый документ «Установление категории потенциальной опасности радиационного объекта», затем разработал и ввел в действие с 1 марта 2008 года руководство по безопасности РБ-042-07, в котором предложена методика категоризации закрытых радионуклидных источников по потенциальной радиационной опасности.

В зависимости от потенциальной радиационной опасности методика устанавливает пять категорий закрытых радионуклидных источников. Категория любого источника устанавливается, исходя из численного значения отношения фактической активности (А) к рекомендованному пороговому значению активности для данного радионуклида (D-величина):

- первая категория –  $A/D \geq 1000$ ;
- вторая категория –  $1000 > A/D \geq 10$ ;
- третья категория –  $10 > A/D \geq 1$ ;
- четвертая категория –  $1 > A/D \geq 0,01$ ;
- пятая категория –  $0,01 > A/D$ ,  $A/D$  больше уровня изъятия из-под регулирующего контроля.

В качестве численного значения D-величины разработчики рекомендуют выбор наиболее потенциально опасного сценария, приводящего к тяжелым детерминированным эффектам.

**В ГУП МосНПО «Радон» для оптимизации учета и контроля на всех стадиях обращения с РВ и РАО разработана и применяется база данных контроля и учета РАО, находящихся в обращении, объединяющая все системы. Она содержит полную информацию о РВ и РАО и позволяет проследить весь их путь от поступления на предприятие до места размещения на долговременное хранение.**

*SUE SIA Radon Moscow, in order to optimise tracking and accounting on all stages of radioactive substances and radwaste management, has developed and introduced a database for tracking and accounting of circulated radwaste, which combines all systems. The database contains complete information on radioactive substances and radwaste and allows tracking its entire path from arrival to the site to placement in long-term storage location.*

diation. When characterising such objects, the terms “ionising radiation source” and “radionuclide source”, as well as “radioactive substance” and “radioactive waste” are used.

In order to elaborate on the existing regulations, Rostekhnadzor issued the document “Determination of category of potential danger of radiation objects”, then wrote and introduced (from 1st March 2008) the safety guide RB-042-07, which contains a proposed “Methodology for categorisation of enclosed radionuclide sources by level of potential radiation danger”.

Depending on the level of potential radiation danger, the proposed methodology establishes five categories of enclosed radionuclide sources. The category of any source is determined based on the numeric value of the ratio of actual activity level (A) to the recommended activity threshold value for this radionuclide (D-value):

- first category –  $A/D \geq 1000$ ;
- second category –  $1000 > A/D \geq 10$ ;
- third category –  $10 > A/D \geq 1$ ;
- fourth category –  $1 > A/D \geq 0,01$ ;
- fifth category –  $0,01 > A/D$ ,  $A/D$  above the level of release from regulatory control.

The developers of the methodology suggest that potentially the most dangerous scenario leading to the worst deterministic effects be used as the numeric D-value.

The proposed document is very well thought-through, extremely straightforward and ready for practical use, with each area of coverage of categorisation objects not excluding another, but may be improved by production of scientifically justified methodologies for categorisation of specific objects. This methodology contains the criteria for relating sources of ionising radiation to a specific category of potential danger, but does not prescribe methods and means of subsequent handling depending on category.

#### TIME FACTOR

This paper proposes approaches to categorisation of sources of ionising radiation by level of potential radiation danger, which may be considered as one of the possible improvements of categorisation.

In OSPORB-99, all sources of ionising radiation that arrive at a radwaste management facility and are classified by the client as radioactive waste are considered to be open



Предложенный документ отличается высокой степенью проработанности, предельной однозначностью и готовностью к практическому применению, причем каждая область распространения на объекты категорирования не исключает друг друга, а может быть усовершенствована путем создания научно обоснованных методик для категорирования конкретных объектов. Эта методика содержит критерии отнесения ИИИ к категории потенциальной опасности, но способы и методы дальнейшего обращения с источниками в зависимости от категории не регламентирует.

### УЧЕТ ВРЕМЕННОГО ФАКТОРА

В данной работе предлагаются подходы к категорированию по потенциальной радиационной опасности ИИИ, которые можно рассматривать как один из возможных вариантов усовершенствования.

В ОСПОРБ-99 все ИИИ, поступающие на предприятия по обращению с РАО, квалифицированные заказчиком как радиоактивные отходы, рассматриваются в качестве открытых источников излучения, независимо от реальных технических характеристик, степени износа и прочего. Предлагаемая МАГАТЭ категоризация и руководство по безопасности РБ-042-07 Ростехнадзора ориентированы на закрытые радиоактивные источники.

На предприятиях по обращению с РАО созданы централизованные службы учета и контроля РВ и РАО, которые являются частью системы государственного учета и контроля. Такие службы ввели в практику и совершенствуют системы паспортизации, идентификации и маркировки учетных единиц РВ и РАО.

В ГУП МосНПО «Радон» для оптимизации учета и контроля на всех стадиях обращения с РВ и РАО разработана и применяется база данных контроля и учета РАО, находящихся в обращении, объединяющая все системы. Она содержит полную информацию о РВ и РАО и позволяет проследить весь их путь от поступления на предприятие до места размещения на долговременное хранение. Контроль проводится с помощью персональных идентификационных номеров, присваиваемых каждой учетной единице.

Для входного контроля радионуклидного состава РВ и РАО, поступающих на предприятие, используются экспрессные неразрушающие методы, реализованные в виде мобильных спектрометров  $\gamma$ -излучения «ISOCS», МДГ-01Д «Садовник». В основу положен метод регистрации  $\gamma$ -излучения полупроводниковым детектором, который позволяет делать заключение о количестве  $\alpha$ -излучающих радионуклидов (например,  $^{238}\text{U}$ ) и трансурановых элементов ( $^{241}\text{Am}$ ), определяемых по дочерним  $\gamma$ -излучающим нуклидам. Для снижения погрешности измерений используется дополнительное оборудование в виде поворотной платформы с электроприводом для вращения упаковок РАО.

При долговременном хранении РАО активность радионуклидов меняется вследствие естественного распада, уменьшается или увеличивается, при этом происходит накопление активности за счет образующихся дочерних нуклидов, причем их вклад в суммарную активность упаковки РАО может быть существенным. В зависимости от соотношения периодов полураспада исходного и дочернего радионуклидов возможно несколько



Капсулы с источниками / Source capsules

sources of radiation, regardless of their actual technical characteristics, extent of wear, etc. The IAEA-proposed approach to categorisation and the safety guideline RB-042-07 of Rostechнадзор is based on enclosed radioactive sources.

Radwaste management sites have centralised services for tracking and accounting of radioactive substances and radwaste, which are part of the national accounting system. Such services have introduced and are improving systems of certification, identification and tagging of units of accounting of radioactive substances and radwaste.

SUE SIA Radon Moscow, in order to optimise tracking and accounting on all stages of radioactive substances and radwaste management, has developed and introduced a database for tracking and accounting of circulated radwaste, which combines all systems. The database contains complete information on radioactive substances and radwaste, and allows tracking its entire path from arrival at the site to placement in long-term storage location. Monitoring is performed with the aid of individual identification numbers that are assigned to each unit of accounting.

For on-receipt examination of radionuclide composition of incoming radioactive substances and radwaste, express nondestructive methods are used as implemented by mobile  $\gamma$ -radiation spectrometers ISOCS, MDG-01D Sadovnik. They are based on the method of registration of  $\gamma$ -radiation by a semi-conductor detector, which can conclude on the quantity of  $\alpha$ -emitting radionuclides (such as  $^{238}\text{U}$ ) and transuranic elements ( $^{241}\text{Am}$ ), identified by their daughter  $\gamma$ -emitting nuclides. In order to reduce measurement error, additional equipment is used, namely a turning platform with electrical actuation for rotation of the packages with radwaste.

During long-term storage of radwaste, activity levels of radionuclides may change up or down over time as a result of natural decay, with eventual accumulation of activity contributed by daughter radionuclides, whose contribution toward the total activity of a radwaste package may be significant. Depending on the ratio of half-life periods of the parent and daughter radionuclides, variation in their activity levels may follow several different patterns: the parent radionuclide decays faster than the daughter nuclide;

ко вариантов изменения их активностей: исходный радионуклид распадется быстрее дочернего; период полураспада исходного радионуклида соизмерим или несколько больше периода полураспада дочернего; период распада исходного радионуклида несравнимо больше, чем у дочернего. При этом может меняться и категория источника излучения.

Этот факт диктует необходимость учитывать и прогнозировать при хранении РВ и РАО изменение радионуклидного состава и суммарной активности радионуклидов в хранилище, опираясь на входные данные. Для этого на ГУП МосНПО «Радон» разработана методика, позволяющая прогнозировать изменения характеристик РАО для каждой единицы хранения и с учетом этого оценивать ее основные параметры в определенный промежуток времени.

Предложенный метод позволяет достаточно полно характеризовать радионуклидный состав и суммарную активность каждой учетной единицы от начала хранения. Исходными данными для расчета являются заявленные характеристики РАО и РВ и результаты экспертных измерений при входном контроле. Важным параметром для прогнозирования изменения радионуклидного состава и суммарной активности учетной единицы РАО является расчет периода потенциальной опасности. Это позволяет предполагать изменение категории потенциальной опасности РВ и РАО в процессе хранения.

Определение категории потенциальной опасности учетной единицы РАО при хранении происходит в несколько этапов:

- определение радионуклидных характеристик РАО;
- определение активности исходного и дочернего радионуклидов на момент установления категории потенциальной радиационной опасности;
- расчет суммарной активности исходного и дочерних радионуклидов;
- вычисление  $A/D$  для совокупности радионуклидов;
- определение «расчетной» категории потенциальной радиационной опасности на момент категорирования и на определенный промежуток времени.

Предложенный подход к категоризации по потенциальной радиационной опасности позволяет учесть факт изменения характеристик ИИИ с течением времени и уменьшить вероятность непредумышленного занижения их потенциальной радиационной опасности. Его реализация позволит:

- оптимизировать размещение ИИИ в хранилищах в соответствии с прогнозом изменения категории потенциальной опасности;
- сформулировать требования к хранению ИИИ в зависимости от категории потенциальной опасности;
- разработать требования к хранилищам ИИИ в зависимости от категории потенциальной опасности;
- сформулировать требования к использованию матричных материалов на срок сохранения потенциальной опасности ИИИ;
- более рационально использовать хранилища, размещать ИИИ в зависимости от прогноза изменения категории потенциальной опасности в хранилищах приповерхностного типа, для более длительного хранения использовать хранилища нового поколения (например, скважинного типа).

half-life of the parent radionuclide is close or slightly longer than half-life of the daughter nuclide; half-life of the parent radionuclide is much longer than that of the daughter nuclide. With variation in activity, the category of the radiation source may change accordingly.

This fact makes it necessary to take variations in radionuclide composition and total activity of radionuclides in storage (based on input data) into account and forecast their changes during storage of radioactive substances and radwaste. For that purpose, SUE SIA Radon Moscow has developed a methodology that can forecast changes in the characteristics of radwaste for each unit of storage over time, and use them for determination of any storage unit's parameters at a certain point in time.

The proposed method allows characterising with sufficient accuracy the radionuclide composition and total activity level of every accounting unit before the beginning of storage. Initial data for the calculation is the declared characteristics of radwaste and radioactive substances on arrival and results of verification measurements performed during on-receipt examinations. An important parameter for forecasting changes in the radionuclide composition and total activity of the radwaste unit of accounting is calculation of the period of potential danger. This helps predict changes of category of potential danger of radioactive substances and radwaste over time in the process of storage.

Determination of category of potential danger of a specific unit of accounting of radwaste for storage is performed in several stages:

- determination of radionuclide characteristics of the radwaste;
- determination of activity levels of the parent and daughter radionuclides at the time of category determination;
- calculation of total activity levels of the parent and daughter radionuclides;
- calculation of  $A/D$  for the aggregate of radionuclides;
- determination of the “calculated” category of potential radiation danger at the time of categorisation and after a certain period of time.

The proposed approach to categorisation by potential radiation danger allows taking into account the fact that the characteristics of sources of ionising radiation change over time and reducing the possibility of undeliberate understatement of their potential radiation danger. The implementation of the approach will help:

- optimise placement of sources of ionising radiation in storage facilities per their forecasted changes of category of potential danger;
- formulate the requirements to storage of sources of ionising radiation depending on category of potential danger;
- define requirements to storage facilities for sources of ionising radiation depending on category of potential danger;
- formulate requirements to utilisation of matrix materials for the period during which the sources of ionising radiation will remain potentially dangerous;
- use the storage capacities more rationally, placing sources of ionising radiation into various storage conditions depending on their anticipated time of change of category, in near-surface storage locations, with new-generation storage facilities (such as storage in wells) used for longer-term storage.