

РАДИОИЗОТОПНЫЕ ПРИБОРЫ: ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

RADIOISOTOPE INSTRUMENTS: RADIATION SAFETY CONCERNS

В.Г. САФРОНОВ, *к.т.н.*,
А.В. ЖЕВЛАКОВ, *к.г.-м.н.*
(ГУП МосНПО «Радон»)



V.G. SAFRONOV, *Candidate of Technical Sciences*,
A.V. GHEVLAKOV, *Candidate of Geology and Mineralogy (SUE SIA Radon)*

■ В России производится более 40 искусственных радионуклидов. ^{137}Cs и ^{60}Co применяются в мощных гамма-установках, ^{193}In , ^{170}Tm , ^{75}Se – в промышленной дефектоскопии и медицинской технике, ^{90}Sr , ^{147}Y , ^{146}Pm – в ядерно-аналитической и контрольно-измерительной технике, ^{144}Ce , ^{210}Po , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am – в приборах технологического контроля, информационных системах, дымоизвещателях.

Радиоизотопные приборы (РИП), в которых используются источники ионизирующего излучения (ИИИ), начали выпускать в середине XX века для автоматизации целого ряда производств, определения параметров и характеристик отдельных сред. РИП нашли широкое применение в металлургии, машиностроении, химической, легкой и пищевой промышленности, в производстве строительных материалов, медицине, геологоразведке и на транспорте.

В конце XX века в России использовалось несколько сотен тысяч РИП. В начале 90-х активность ИИИ в дефектоскопах, приборах технологического контроля, сигнальных информационных системах достигала 500 ТБк. Только на предприятиях Москвы в 2000 году использовалось 150 000 радиоактивных источников.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РИП

Исходя из преобладающего вида излучения источника, РИП подразделяются на приборы с γ -, β -, α - и нейтронными ИИИ. Кроме того, для исследовательских целей и отдельных технологий изготавливаются нестандартные РИП.

■ *Russia produces over 40 artificial radionuclides. ^{137}Cs and ^{60}Co are used in high-power gamma installations; ^{193}In , ^{170}Tm and ^{75}Se in industrial flaw detection and medical equipment; ^{90}Sr , ^{147}Y and ^{146}Pm in nuclear analysis equipment and in instrumentation; ^{144}Ce , ^{210}Po , ^{238}Pu , ^{239}Pu , and ^{241}Am in process control instruments, information systems, and smoke detectors.*

The production of radioisotope instruments, which utilise sources of ionising radiation, started in mid 20th century with the objective of introducing automation to a number of industries, and enabling determination of parameters and characteristics of certain media. Radioisotope-based gauges have come into wide use in metallurgy, machine-building, chemistry, light industries and making of foodstuffs, production of construction materials, medicine, geological exploration and transport.

As of the end of the 20th century there were hundreds of thousands radioisotope instruments in Russia. In early 1990s the summary activity of ionising radiation sources in flaw detectors, process control instruments, and signal information systems totalled 500 TBq. As of 2000, Moscow businesses alone used 150,000 radioactive sources.

MAIN TYPES OF RADIOISOTOPE INSTRUMENTS

Depending on their main source of emitted radiation, radioisotope instruments are divided into γ -, β -, α - and neutron-based sources of ionising radiation. In addition, non-standard radioisotope instruments are also made for research purposes and some technological applications.

■ **Источники ионизирующего излучения** представляют значительную радиационную опасность, следовательно, при обращении с ними необходимо строго соблюдать требования безопасности.

Наибольшей проникающей способностью отличается γ - и нейтронное излучение. Например, на расстоянии 120 м мощность γ -фотонов в 2 МэВ снижается только в 2 раза. Чтобы предотвратить воздействие γ -излучения, необходимо ограничивать время контакта с радионуклидами, увеличивать расстояние, использовать поглощающие экраны (например, из свинца, бетона, малообогатенного урана). Для защиты персонала, работающего с ИИИ, γ -излучатели помещают в специальные контейнеры, сейфы, боксы.

Нейтронное излучение взаимодействует с ядрами атомов среды, передавая им часть своей энергии. Таким образом, под действием нейтронов многие материалы становятся радиоактивными. Эффективными поглотителями энергии нейтронов являются водород, углерод и бор.

β -излучение угрожает в основном зрению. Поэтому все операции с β -радионуклидами проводятся с использованием защитного экрана или специальных очков.

У α -распада очень низкая проникающая способность. Однако при попадании α -частиц в открытые раны, желудочно-кишечный тракт или легкие с пищей, водой, воздухом может произойти отравление организма, развиться рак щитовидной железы и другие заболевания. Наиболее опасные α -излучатели – ^{210}Po , ^{238}Pu , ^{241}Am , ^{226}Ra .

В зависимости от активности применяемых источников выделяют 3 группы потенциальной радиационной опасности РИП. Приборы с ИИИ, активность которых не превышает 185 МБк, относятся к первой, с активностью 185–1850 МБк – ко второй, свыше 1850 – к третьей группе.

Наибольшее количество (87%) радиоизотопных приборов, произведенных в России, содержит источники γ -излучения на основе радиоизотопов ^{137}Cs и ^{60}Co . Активность цезиевых источников в одном приборе варьируется от 0,04 ГБк (уровнемер УР-8М) до 370 ГБк (реле ГР-7), кобальтовых – от 0,1 до 1,5 ГБк. Такие ИИИ защищены 1–2 оболочками из нержавеющей стали толщиной 0,5–1 мм.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГИ) на поверхности блока уровнемеров УР-8 и УР-8М составляет 3–10 Зв/ч, на расстоянии 1 м от поверхности – 0,1–0,2 Зв/ч (МЭДГИ указана для источников, находящихся без защиты). По степени опасности эти приборы отнесены к третьей группе. Определенный риск представляет и неквалифицированное использование других РИП с γ -излучателями: плотномеров – ППП-2, ПР-1024, толщиномеров – ИТУ, ИТШ-495, ТОР-1, ТОР-3, реле – ГР-6, ГР-8, РРП-3, РРИВТ-1, РРП-3М, нейтрализаторов – НСЭ-200, НСЭ-400 и других, МЭДГИ которых на поверхности их блоков составляет 0,8–10 Зв/ч.

В источниках β -излучения применяются ^{90}Sr и ^{90}Y (активность – 0,02–2,2 ГБк), ^{147}Pm и ^{85}Kr (0,05–50 ГБк), ^{204}Tl (0,4–80 ГБк) и другие радиоизотопы. Эти ИИИ защищены алюминиевой оболочкой толщиной 0,12–0,3 мм. Они используются в релейных приборах для подсчета предметов на конвейере (РРП-2), измерения веса и толщины покрытий из металла, резины, пластмассы, лаков (ГММ-24024). Источники β -излучения на основе ^{239}Pu и трития служат нейтрализаторами статического электричества (АИП-Н-1).

Основные источники α -распада (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{237}Np и т.д.) используют для измерений содержания пыли, аэрозолей и радона в воздухе предприятий горной, металлургической, цементной и других отраслей промышленности.

Радиоизотопы ^{238}Pu и ^{241}Am используются в извещателях дыма (РИД-1, РИД-6М и т.д.), которые в 70–80-е годы

Depending on the activity of the source they employ, radioisotope gauges represent three groups of radiation hazard. Instruments that include sources with activity level below 185 MBq are regarded as Group I, with activity within 185–1,850 MBq as Group II, and above 1,850 MBq as Group III.

Most (87%) of radioisotope instruments that are manufactured in Russia contain γ -sources based on radioisotopes ^{137}Cs and ^{60}Co . Activity of caesium-based sources in a single gauge may vary from 0.04 GBq (level meter UR-8M) to 370 GBq (relay GR-7); cobalt-based instruments – from 0.1 to 1.5 GBq. Such sources of ionising radiation are protected by one or two shells of stainless steel 0.5–1 mm thick.

Gamma radiation exposure dose rate of level meters UR-8 and UR-8m is 3–10 Sv/hour on the outer surface, and 0.1–0.2 Sv/hour at 1 metre from the surface (exposure dose rate is given for sources without protection). The potential hazard level of these instruments dictates that they be regarded as Group III. Other sources with γ -emitters – density meters PGP-2, PR-1024, thickness meters ITU, ITSh-495, TOR-1, TOR-3, relays GR-6, GR-8, RRP-3, RRIVT-1, RRP-3M, neutralisers NSE-200, NSE-400 and others – may also represent certain risk if handled improperly, as the exposure dose level on their outer surface is 0.8–10 Sv/hour.

β -radiation sources employ ^{90}Sr and ^{90}Y (activity level 0.02–2.2 GBq), ^{147}Pm and ^{85}Kr (0.05–50 GBq), ^{204}Tl (0.4–80 GBq) and some other isotopes. Such sources of ionising radiation are protected by a single aluminium shell 0.12–0.3 mm thick. These are used in relay instruments to count items on the conveyor belt (RRP-2), to measure weight and thickness of metal, rubber, plastic or lacquer coatings (GMM-24024). β -radiation sources based on ^{239}Pu and tritium serve as neutralisers of static electricity (AIP-N-1).

α -sources (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , ^{237}Np and others) are mainly used to measure the contents of dust, aerosols and radon in the air of mining, metallurgical, cement and other production facilities.

^{238}Pu and ^{241}Am are used in radioisotopic smoke detectors (RID-1, RID-6M etc.). Such detectors were installed in masse during the 1970–80s on many enterprises, organisations, institutions and schools. Recently, in Moscow and the surrounding areas there has been campaign for removal of these devices as their operation life has expired. Such instruments are regarded as Group I in terms of their radiation hazard; they can, however, become seriously dangerous should the radionuclide-carrying plates in them be destroyed. Specialists from SUE SIA Radon Moscow have already removed tens of thousands of smoke detectors for long-term storage as radwaste.

■ **Sources of ionising radiation represent considerable radiation danger. Corresponding safety measures are therefore required to be implemented when handling them.**

γ - and neutron radiation have the highest penetrating capability. For instance, at 120 metres the power of γ -photons of 2 MeV is only two times less than on the surface. To prevent the impact of γ -emission, the time of contact with radionuclides needs to be limited, distance increased and radiation-absorbing shields (lead, concrete, depleted uranium) must be used. To protect personnel working with the sources of ionising radiation, γ -emitters are placed in special containers, safes, shells.

Neutrons interact with nuclei of the atoms in the area that they pass through, transferring some of their energy to these nuclei. Therefore, when impacted by neutrons, many materials become radioactive. Hydrogen, carbon and boron are all good neutron absorbers.

β -emission can harm eyesight more than anything else. Hence, all operations that involve β -emitting radionuclides are performed using shielded screens or special goggles.

α -emission has very low penetrating capability. However, when α -particles get into open wounds, digestion organs or lungs as a result of intake with food, water or air, the body may become poisoned, and thyroid gland cancer and some other diseases may develop. Among α -emitters, ^{210}Po , ^{238}Pu , ^{241}Am , and ^{226}Ra are the most dangerous.

устанавливались на многих предприятиях, в организациях, институтах и школах. В последние годы в Москве и Подмосковье идет демонтаж этих приборов в связи с истечением срока эксплуатации. Такие приборы входят в первую группу потенциальной радиационной опасности, однако представляют серьезную опасность при разрушении пластин с нанесенными на них радионуклидами. Специалисты ГУП МосНПО «Радон» уже вывезли на длительное хранение (как радиоактивные отходы) десятки тысяч дымоизвещателей.

ИИИ с ^{239}Pu и тритием, а также с $^{238}\text{Pu} + ^3\text{H}$ применяются как источники нейтронов в нейтрализаторах статического электричества (НРИ-5, НРИ-6 и т.д., МЭДГИ на поверхности – до 0,0001 Зв/ч). В радиоизотопных влагомерах ВВП-1, ВВПР-1, «Нива-2», «Нейтрон-3М» действуют плутоний-бериллиевые источники (активностью 10^3 – 10^8 нейтронов в секунду). Во многих отраслях промышленности широко используются полоний-бериллиевые и полоний-борные ИИИ.

ОСТОРОЖНО, БЕСКОНТРОЛЬНЫЕ ИСТОЧНИКИ!

Радиоизотопные приборы, при разгерметизации источника, могут представлять серьезную угрозу для населения и окружающей среды. Для предотвращения таких инцидентов необходимо не допускать несанкционированного использования радиоизотопных приборов, строго руководствоваться правилами их приема, использования, передачи, сдачи и вывода из эксплуатации. Если мощность экспозиционной дозы на расстоянии 0,1 м от поверхности прибора превышает 0,000001 Зв/ч, РИП подлежит обязательному учету и контролю. В Москве и Подмосковье контроль каждого ИИИ, от изготовления до изоляции как РАО, осуществляется с помощью автоматизированной системы «Источник», разработанной специалистами ГУП МосНПО «Радон». Эта система интегрирована в единую систему государственного учета и контроля радиоактивных веществ и отходов.

Однако после распада СССР контроль многих РИП был утерян, и в крупных городах возникла проблема «бесхозных» источников.

Наибольшую опасность представляют РИП с источниками γ -излучения – как за счет высокой активности ИИИ, так и из-за широкого распространения. На терри-

Sources of ionising radiation that contain ^{239}Pu and tritium, as well as $^{238}\text{Pu} + ^3\text{H}$ are used as neutron sources in static electricity neutralisers (NRI-5, NRI-6, etc.; surface gamma exposure dose rate up to 0.0001 Sv/hour). Radioisotope moisture meters VNP-1, VPGR-1, Niva-2, Neytron-3M employ plutonium-beryllium sources (activity 10^3 – 10^8 neutrons per second). Many industries widely use polonium-beryllium and polonium-boron sources of ionising radiation.

CAUTION: UNCONTROLLED RADIATION SOURCES!

Radioisotope instruments, in case of source leakage, can pose a serious threat for population and environment. In order to prevent such incidents it is necessary to sanction the use of radioisotope instruments, strictly follow rules of acceptance, application, transfer, delivery and decommissioning. If the exposure dose rate at 0.1 metre from the surface exceeds 0.000001 Sv/hour, such radioisotope instruments must obligatorily be registered and accounted for. In Moscow and the Moscow region, each source of ionising radiation, from fabrication to disposal as radwaste, is controlled using the automatic system "Istochnik", developed by SUE SIA Radon Moscow. This system is integrated with the national system of state control and accounting of radioactive materials and waste.

However, after the break-up of the Soviet Union control over many of these sources was lost, and a problem of "abandoned" SIRs arose in large cities.

The most dangerous to the public are radioisotope instruments that include γ -emission sources, due to their high source activity as well as their abundance.

During 1990–2006 in Moscow and the Moscow region, SUE SIA Radon Moscow specialists discovered dozens of "unattended" sources of γ -radiation with dose rate ranging from 0.015 to 0.1 Sv/hour.

For instance, in June 1990 in a residential yard in the Bauman district of Moscow a radioactively contaminated area was found, which had the exposure dose rate of 0.0011 Sv/hour. After removal of the top soil layer, a metal cylinder was discovered that had the surface exposure dose rate of 0.015 Sv/hour. At about the same time, another source of ionising radiation was detected and neutralised within the territory of the Semenov Chemical Physics Institute, which had the surface exposure dose rate of 0.25 Sv/hour.

In August 1990, Radon specialists removed a source of ionising radiation with exposure dose rate of 1.5 Sv/hour from the side of the Moscow city ring road.

■ В ГУП МосНПО «Радон» основные работы по выявлению и обезвреживанию ИИИ выполняют специалисты Регионального информационно-аналитического центра и Центра технологии приема, транспортирования радиоактивных отходов и радиационно-аварийных работ (Центр ТПТ РАО и РАР).

В Центре ТПТ РАО и РАР работают 10 кандидатов наук. Все работники Центра имеют высшее или среднее специальное образование. У многих большой опыт работы с ядерными и радиационными материалами: в атомной промышленности, воинских частях радиационной и химической защиты, во время поиска, разведки и добычи урана, ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, испытаний ядерного оружия на Новоземельском полигоне.

■ In SUE SIA Radon Moscow, main activities associated with detection and neutralisation of ionising radiation sources are performed by specialists of the Regional Information and Analysis Centre and the Centre for Radwaste Receipt and Transportation Technologies and Radiation Emergency Response.

The latter Centre employs 10 Candidates of Science. All employees of the Centre have higher or specialised secondary education. Many have a lot of experience in management of nuclear and radioactive materials: in the nuclear power industry, in the military (radiation and chemical protection units), uranium exploration and mining, Chernobyl accident clean-up work, nuclear weapon tests in the Novaya Zemlya testing ground.

тории Москвы и Московской области сотрудники ГУП МосНПО «Радон» только в 1990–2006 годах обнаружили несколько десятков «бесхозных» источников γ -излучения с МЭДГИ 0,015–0,1 Зв/ч.

Например, в июне 1990 года во дворе жилого дома в Бауманском районе Москвы был выявлен участок радиоактивного загрязнения с МЭДГИ 0,0011 Зв/ч. При вскрытии очага загрязнения обнаружен металлический цилиндр с мощностью излучения на поверхности 0,015 Зв/ч. В это же время на территории Института химической физики РАН им. Н.Н. Семенова был обезврежен ИИИ с МЭДГИ 0,25 Зв/ч.

В августе 1990 года с обочины МКАД в 400 м от Алтуфьевского шоссе специалисты «Радона» извлекли ИИИ с МЭДГИ 1,5 Зв/ч.

В 1995 году в подвале дома в Лучниковом переулке, где находилась лаборатория γ -дефектоскопии сварочных швов, при разгерметизации из прибора выпал ИИИ, в результате чего произошло радиоактивное загрязнение помещения. Для экранизации мощного излучения сотрудники лаборатории использовали свинцовые листы и кирпичную кладку. Однако активность была снижена только до 0,0000014 Зв/ч, что в несколько раз выше допустимого уровня. Специалисты ГУП МосНПО «Радон» после сложной, кропотливой работы по дезактивации помещения вывезли на длительное хранение 101 380 кг РАО.

В 2000 году на территории НПО «Химавтоматика» в мусорном контейнере был обнаружен цезиевый источник с МЭДГИ 0,01 Зв/ч.

Бесконтрольные ИИИ находили в Мытищах, Балашихе, Электростали, Люберцах, Ступино и других городах и населенных пунктах Московской области. Одна из крупнейших аварийных ситуаций произошла в 1989 году на Подольском заводе цветных металлов. В результате попадания источника ^{137}Cs в плавильную печь загрязнению подверглись не только помещения цеха, но и часть прилегающей территории общей площадью более 42 га. Значение МЭДГИ при этом достигало 0,000029 Зв/ч, объем образовавшихся радиоактивных отходов составил 14,5 тыс. м³.

Случаи потери источников γ -излучения отмечались и в других российских регионах. Так, в городе Сафонове Смоленской области в 1997 году на усадьбе частного дома обнаружили 5 свинцовых контейнеров с цезиевыми ИИИ. Из двух емкостей были извлечены источники типа БГИ-2М (они хранились в полиэтиленовом пакете). Мощность излучения ИИИ составляла 0,08 Зв/ч.

В 1998 году в Чеченской Республике, на автодороге Грозный – Аргун, местные жители обнаружили блестящий металлический цилиндр. При кратковременном контакте с ним 2 человека получили сильные ожоги. Пострадавших срочно доставили в московскую клинику, где одному пришлось ампутировать кисти рук. Они не запомнили место, где оставили опасную находку. Мощный ИИИ был обнаружен и обезврежен силами оперативной группы, сформированной из специалистов МЧС РФ, ГУП МосНПО «Радон» и МГТУ им. Баумана.

Металлический цилиндр оказался ИИИ типа ГИК-7А-4 с МЭДГИ до 4 Зв/ч. Он использовался для лучевой терапии в онкологической клинике и после разрушения здания больницы при боевых действиях был выброшен на свалку вместе со строительным мусором.



Радиационный извещатель дыма РИД-1
A radiological smoke detector RID-1

In 1995, in the basement of a building in Lucnikovoy lane, where the laboratory for γ weld flaw detection was located at the time, one source of ionising radiation fell out of the instrument shell, as a result of which the room became contaminated. The laboratory workers tried to use lead plates and brickwork as shielding against strong radiation. However, even then the activity level was only reduced to 0.0000014 Sv/hour, still several times the permissible level. After a long and difficult series of decontamination measures, Radon specialists finally removed a total of 101,380 kilograms of radwaste for long-term storage.

In 2000, a caesium source with the dose rate of 0.01 Sv/hour was detected in a refuse bin on the Khimavtomatika Plant site.

Uncontrolled ionising radiation sources have also been found in Mytitschi, Balashikha, Elektrostal, Lyubertsi, Stupino and other locations in the Moscow region. One of the most serious accidents involving sources of ionising radiation occurred in 1989 on the Podolsk Non-ferrous Metals Plant. As a result of caesium-137 ingress into the smelting furnace, contamination spread not only to the shop rooms but also to the surrounding area of over 42 hectares. Exposure dose rate levels reached 0.000029 Sv/hour and the volume of resulting radwaste was 14.5 thousand m³.

Cases of loss of ionising γ -radiation sources have also occurred in other Russian regions. For example, in 1997, five lead containers with caesium radiation sources were detected in the backyard of a private house in Safonovo, Smolensk region. Two of these contained type BGI-2M sources (they were packaged in polyethylene bags). Exposure dose rate from these sources reached 0.08 Sv/hour.

In 1998, in Chechnya, local residents discovered a shiny metal cylinder on the motor road from Grozny to Argun. Two people received severe burns from just a brief contact with the object. They were urgently brought to a Moscow clinic, where one of them had to have his hands amputated. The local Chechens could not remember the place where they had left their dangerous find. This strong source of ionising radiation was later located and removed by a special task group consisting of representatives from the Russian Ministry of Emergencies, SUE SIA Radon Moscow and the Bauman State Technical University.

This metal cylinder turned out to be a source of ionising radiation type GIK-7A-4 with the exposure dose rate of up to 4 Sv/hour. It had been used for radiation therapy in a local oncology clinic and during the war was dumped together with other debris.