



AUTOMATED AND ROBOTIC COMPLEX FOR INSPECTION OF RADIATION- POLLUTED AREAS AND DECOMMISSIONING OF NUCLEAR PHYSICAL INSTALLATIONS

A. I. Madzhidova

V. V. Dmitrenkoa

Dr. Phys.-Math. Sciences Professor

A National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, 115409, Russia

* e-mail: aimadzhidov@mephi.ru

Annotation

This article discusses the development of an automated and robotic gamma-ray spectrometric complex for use in decommissioning nuclear physics installations, as well as in monitoring the radiation situation of radiation spent fuel storage facilities. The special physical and technical characteristics of the xenon gamma-ray spectrometer are presented, which can be expediently used as a recording device for gamma radiation of various types of radioisotopes, including radioactive control of the surrounding territory of objects dealing with the operation of nuclear physics installations.

Keywords: xenon, gamma-ray radiation, nuclear object, isotope, energy spectrum.

Аннотация

В данной статье рассматривается разработка автоматизированного и роботизированного гамма-спектрометрического комплекса для использования при снятии с эксплуатации ядерно-физических установок, а также при контроле за радиационной обстановкой хранилищ радиационного отработавшего топлива. Представлены особенные физико-технические характеристики ксенонового гамма-спектрометра, которые могут целесообразно использоваться в качестве регистрирующего устройство гамма-излучения различных типов радиоизотопов, в том числе и радиоактивного контроля окружающей территории объектов, имеющие дело с эксплуатацией ядерно-физическими установками.

Ключевые слова: ксенон, гамма-излучение, ядерные объект, изотоп, энергетический спектр.

Введение. Проблемы с выводом из эксплуатации ядерно-физических установок с помощью эффективных, удобных и безопасных специальных измерительных



приборов всё ещё существуют. Даная работа посвящена разработке автоматизированного и роботизированного гамма-спектрометрического комплекса для использования при снятии из эксплуатации ядерно-физических установок с использованием ксенонового гамма-спектрометра (КГС), который уже показал себя с наилучшей стороны в различных аспектах, как, например, гамма-каротажные исследования глубоких газонефтяных скважин, экологический гамма-мониторинг различных объектов, регистрация космических гамма-вспышек (с более хорошим энергетическим разрешением и большой светосилой, а также с чувствительностью 10^{-6} - 10^{-7} квант/см²·с.) и для таможенного контроля.

Данный гамма-спектрометр должен устанавливаться на автоматизированную и роботизированную платформу с дистанционным управлением. Вообще использование этого комплекса позволит проводить работы по снятию с эксплуатации ядерно-физических установок более чем удобно, безопасно, и с наименьшими финансовыми затратами. Для успешного выполнения регистрации повышенного уровня радиации предусматривается комплекс организационных и технических работ после остановки ядерных и радиационно-опасных объектов впоследствии чрезвычайных ситуациях, большое значение имеет качественный уровень оборудования, используемого для обнаружения и диагностики радиоактивных и делящихся материалов.

После инцидентов на атомных электростанциях и территорий хранилищ отработавшего ядерного топлива в Windscale fire, Three Mile Island, губе Андреева, Чернобыле, ТНТР-300, объекте Tokaimura и Фукусиме стало очевидно, что необходимо проведение дальнейших научно-исследовательских разработок, а также создание современных систем регистрации для выявления и устранения проблем вывода из эксплуатации ядерных и радиационно-опасных объектов без непосредственного вмешательства рабочего персонала. Важными требованиями, предъявляемыми к измерительной аппаратуре, являются дистанционное беспроводное управление, передача экспериментальных данных с помощью телеметрии пульта управления системой гамма-комплекса и обработка полученной информации в режиме реального времени. Основными задачами роботизированной платформы являются: доставка блоков детектирования, установленных на платформе, к исследуемым объектам и возврат её к месту расположения пункта управления; обеспечение передачи информации (видео, гамма-спектрометрические, техническое состояния платформы) на удаленный пульт оператора.



Материалы и методы. В период 20-35 лет учёные многих стран разработали множество роботизированных комплексов по обследованию радиационной обстановки для замены людей при выполнении работ в условиях повышенного радиационного фона радиационно-опасных объектов. Примером такого комплекса может служить роботизированные комплексы Quince-2, Quince-3 и RESCUER на рис.1, которая была создана японскими и испанскими специалистами [1-2].

На рис.1 изображены роботизированные комплексы RESCUER и Quince предназначенные для обнаружения радиоактивных объектов и отбора проб в окрестностях ядерно-опасных объектах. Навигация этих устройств, включает в себя применение системы глобального позиционирования и кодирования.

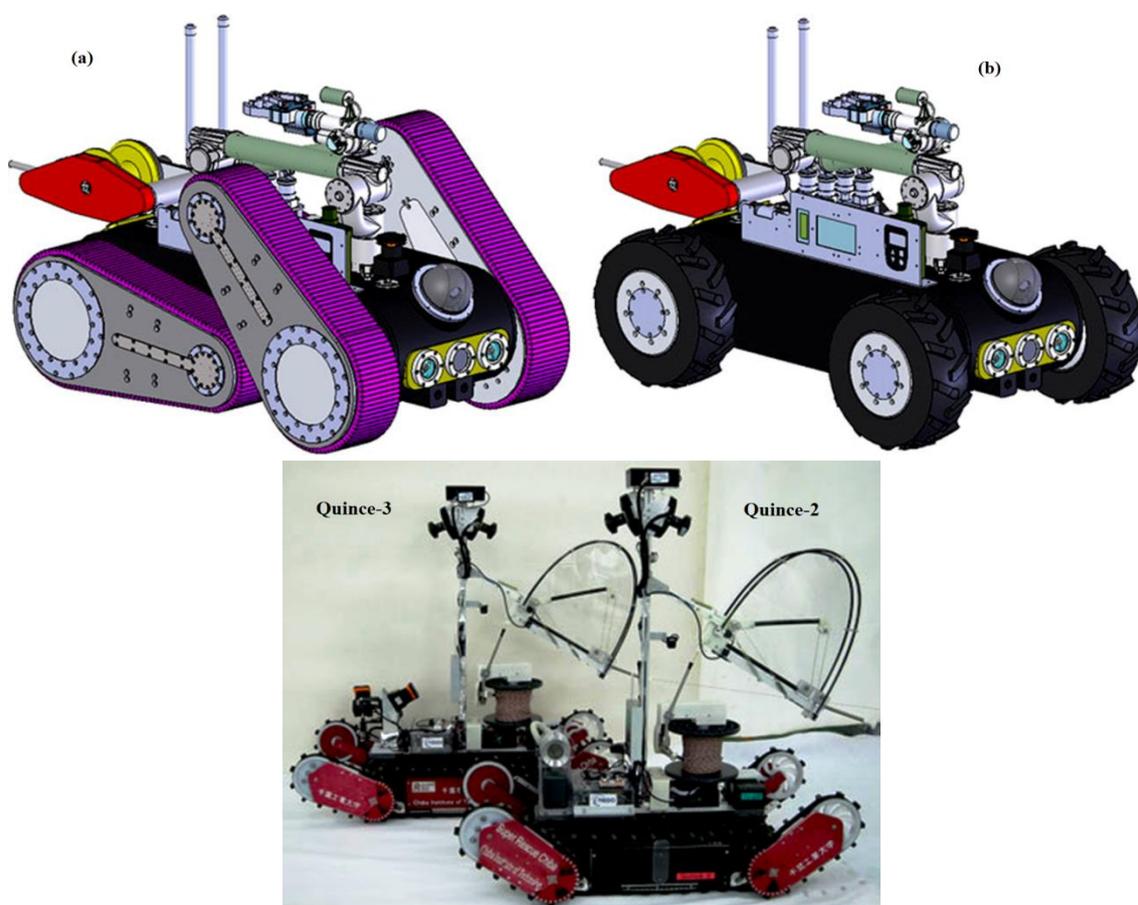


Рис. 1: Робот RESCUER на гусеничной (a) и колесной (b) основе. Изображение справа-Quince-2, с пробоотборником воздушной пыли, а изображение слева-Quince-2, с лазерными сканерами.

Разрабатываемые робототехнические системы в основном состоят из следующих частей: подвижная ступень с блоком аппаратуры обнаружения и регистрации с системами управления и позиционирования. Нынешние роботизированные и автоматизированные комплексы выделяются друг от друга оборудованием для



обнаружения различных компонентов ионизирующего излучения. Одним из таких установок является ксеноновый гамма-спектрометр, который ещё не был применён в составе роботизированного и автоматизированного комплекса. Характеристики ксенонового гамма-спектрометра, а также передача данных с использованием беспроводной системы даёт значительный эффект при создании такого гамма-комплекса.

Оценка основных характеристик ксеноновых гамма-спектрометров.

Детектирующей частью ксенонового гамма-спектрометра (КГС) является цилиндрическая импульсная ионизационная камера с экранирующей сеткой Фриша. Камера заполнена сжатым ксеноном высокого давления. На рис. 2 показан КГС и его структурная схема с эффективным объёмом 2 литра. Его характеристики приведены в таблице 1.

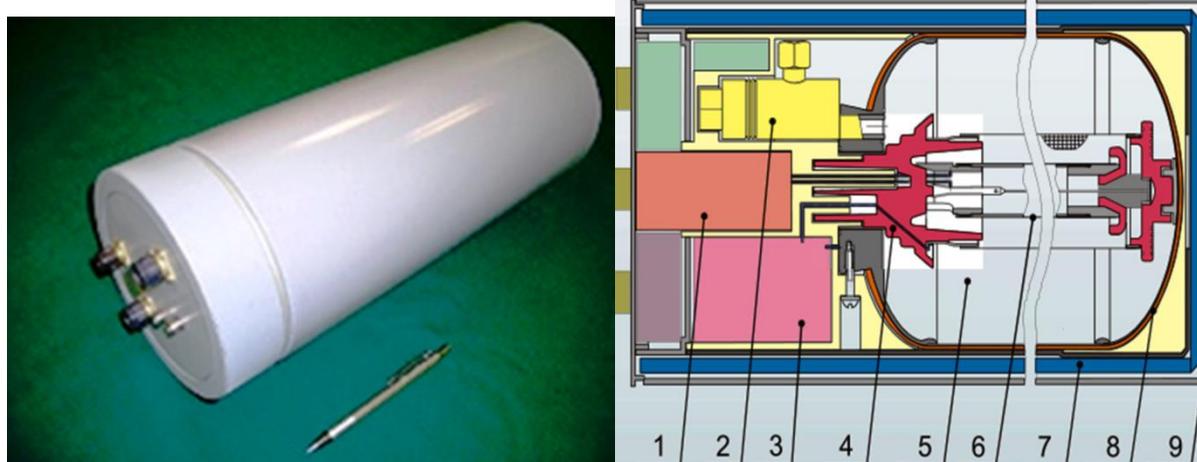


Рис. 2: Фотография и схема КГС: 1 – зарядочувствительный усилитель, 2 – кран для наполнения рабочим веществом, 3 – источник питания, 4 – керамический гермоввод, 5 – ионизационная камера, 6 – экранирующая сетка, 7 – тефлоновая изоляция, 8 – стальной корпус с композитным покрытием, 9 – внешний защитный корпус.

Энергетическое разрешения КГС определялись с помощью использовались образцовые спектрометрические гамма-источники (ОСГИ) такие как ^{153}Eu , ^{133}Ba и ^{137}Cs рис.3. В подобных измерениях был использован детектор NaI(Tl) размером $\text{Ø}7.62 \text{ см} \times 7.62 \text{ см}$ и энергетическое разрешение такого гамма-детектора примерно в пять раз отличается от КГС [3].



Таблица 1 Основные физико-технические характеристики КГС

| | |
|--|-----------|
| Плотность рабочего вещества (ксенона), г/см ³ | 0.3 |
| Диапазон измеряемых энергий гамма-квантов, МэВ | 0.05–5 |
| Энергетическое разрешение для энергии гамма-квантов 662 кэВ, % | 1.7 ± 0.3 |
| Эффективность регистрации гамма-квантов с энергией 662 кэВ, % | 6 |
| Рабочий объем, см ³ | 2000 |
| Масса, кг | 5 |
| Габариты, см | Ø15×45 |
| Энергопотребление, Вт | 20 |
| Напряжение питания, В | 24 |

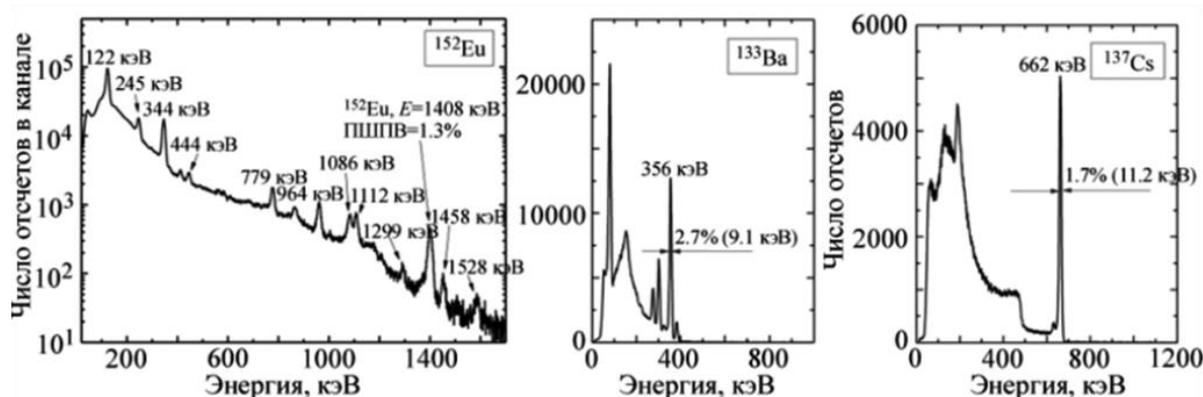


Рис. 3: Спектры гамма-источников ¹⁵²Eu, ¹³³Ba и ¹³⁷Cs, измеренные КГС.

На сегодняшний день по сравнению с германиевым полупроводниковым гамма-детектором энергетическим разрешением около 0.1 % на линии 662 кэВ, ксеноновый гамма-спектрометр имеет 1.7% в той же линии, где прогнозируемый статистический предел КГД равен примерно в 0.4%.

В процессе экспериментов по разработке и создания данного комплекса уже подготовлена и апробирована система дистанционного набора гамма-спектра с помощью созданного программного обеспечения (ПО) «НАБОР» на базе языка программирования Python. Для проверки программы дистанционного управления с КГС использовался микрокомпьютер RaspberryPi3 ModelB+ 1GBRAM под управлением операционной системы LinuxRaspbian (компактный одноплатный микрокомпьютер).

В течений двух суток набирался спектр от источников ОСГИ ¹³³Ba, ⁶⁰Co и ²²Na. RaspberryPi и КГС находились в лаборатории. За этот период энергетический спектр каждую минуту сохранялся во временный файл SPS. На RaspberryPi был запущен сервер программы Team Viewer для удаленного доступа, это позволяло контролировать набор спектра и копировать экспериментальные данные на удаленный ПК. На рис.4 показан интерфейс ПО Python «НАБОР», запущенный на Raspberry Pi, к которому удалось подключиться через TeamViewer.

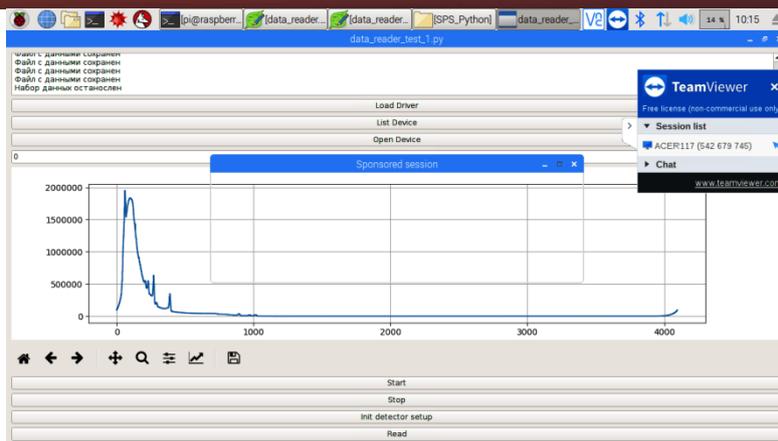


Рис.4: Двухдневный набор гамма-спектра с помощью RaspberryPi.

После остановки набора данных ПО, позволяет внимательно изучить гистограмму, соответствующую энергетическому спектру, приблизив и рассмотрев отдельные гамма-линии.

Результаты и обсуждения

С помощью ПО Python «НАБОР» были получены данные гамма-спектров от источников, ^{133}Ba , ^{60}Co и ^{22}Na . ^{60}Co , которым соответствует линии с энергиями 1332,5 кэВ, 1174 кэВ, источнику ^{22}Na - 1280 кэВ, 511 кэВ и ^{133}Ba - пять линий 383 кэВ, 356 кэВ, 302 кэВ, 276 кэВ, 80 кэВ. На рис.5 показаны энергетические спектры, набранные в течение двух дней при помощи ПО Python «НАБОР» запущенного на RaspberryPi.

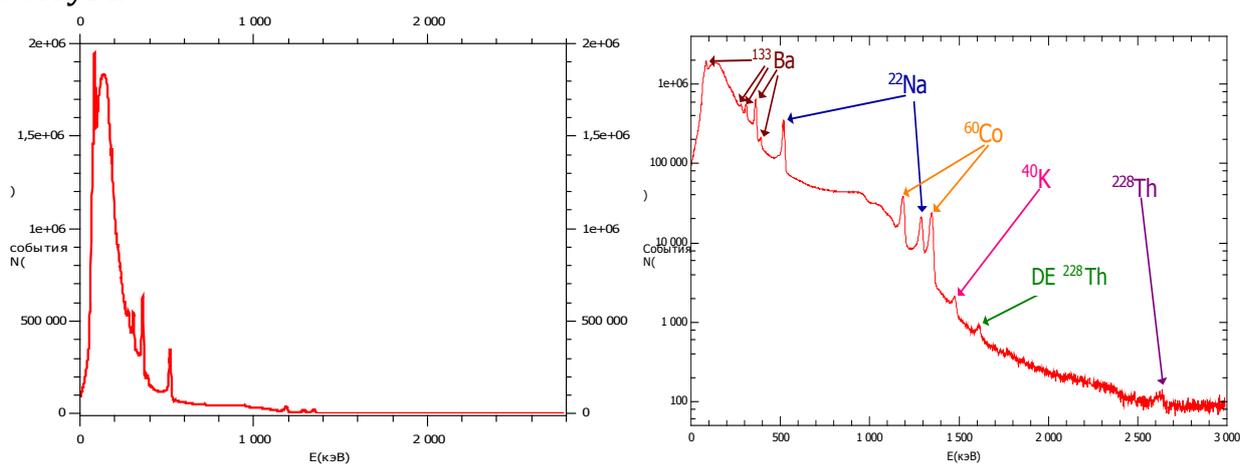


Рис.5: Набранный гамма-спектр с помощью ПО Python «НАБОР» в линейном и полу-логарифмическом масштабе.

В области высоких энергий хорошо видны линии, характерные для естественного радиационного фона (^{40}K , ^{228}Th). По результатам измерений можно сделать вывод что ПО Python «НАБОР» работает стабильно в течении длительного набора и энергетические спектры не отличаются от данных, получаемых с помощью стандартного ПО Delphi «Набор и обработка гамма-спектров».



Заключение и предложение

Рассмотрены основные требования, предъявляемые к роботизированным комплексам, для дистанционного обследования загрязненных территорий в результате техногенных катастроф и обеспечение безопасности производственных процессов. На основании проведенного анализа, сделан вывод о целесообразности, использования в составе автоматизированного и роботизированного комплекса КГС, который обладает высокими спектрометрическими и эксплуатационными характеристиками. С использованием современных модулей, выпускаемых промышленностью, разработаны, изготовлены и испытаны малогабаритные и экономичные системы для обработки гамма-спектров с КГС, передачи спектрометрической информации на расстояния до 2 км. Разработано и испытано ПО, необходимое для функционирования перечисленных систем. Разработан лабораторный вариант дистанционно управляемой платформы, которая может быть использована для тестирования различных вариантов комплекса в лабораторных условиях.

Использованная литература:

- 1) Yoshida, T., et al. (2014). Improvements to the rescue robot Quince toward future indoor surveillance missions in the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant. *Field and Service Robotics—Springer Tracts in Advanced Robotics* (pp. 19–32). Springer. DOI:10.1007/978-3-642-40686-7_2.
- 2) R. Guzman, R., et al. (2016). RESCUER: Development of a Modular Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Robot for Intervention, Sampling, and Situation Awareness. (pp.932-945). DOI:10.1002/rob.21588.
- 3) S. E. Ulin, K. F. Vlasik, A. M. Galper, et al., In: *Proc. SPIE 3114*, 499 (2017). DOI:10.1117/12.283789.