

К. Абд Ель Гавад\*, М. Х. Хаззаа

*Відділ гарантій ядерної безпеки та фізичного захисту,  
Центр досліджень ядерної та радіаційної безпеки, Єгипетське агентство з атомної енергії, Каїр, Єгипет*

\*Відповідальний автор: [khaled\\_science@yahoo.com](mailto:khaled_science@yahoo.com)

## РЕ-ХАРАКТЕРИЗАЦІЯ ДВОХ ПЛАНАРНИХ HPGе ДЕТЕКТОРІВ n-ТИПУ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛЮВАННЯ

Точна гамма-спектрометрія з використанням детекторів з високочистого германію (HPGe) опирається на точне знання ефективності детектора, зокрема ефективності в піку повної енергії (FEPE), яка може знижуватися протягом тривалих періодів роботи через зростання неактивного мертвого шару (DL) детектора. Незважаючи на те, що ця проблема давно відома, корекція DL рідко враховується в детекторах з тривалим робочим циклом, а параметри, вказані виробником, часто приймаються як незмінні. У цьому дослідженні представлено комбінований підхід, що поєднує експериментальні вимірювання і Монте-Карло моделювання для ре-характеризації двох планарних HPGе детекторів n-типу – Sys1 та Sys2 – які перебувають у безперервній експлуатації майже три десятиліття. Хоча детектори мають практично ідентичні геометричні параметри, вони демонструють відмінності в роботі, що пояснюється головним чином варіаціями товщини DL. Було проведено вимірювання гамма-випромінювання з використанням сертифікованих точкових калібровочних джерел (59,5–1332,5 кеВ), а також виконано відповідне моделювання методом Монте-Карло (за допомогою програми MCNP5) для оцінки впливу зміни DL на FEPE та на активний об'єм детектора. У моделюванні було враховано геометричні фактори та ефекти поглинання. Результати дають змогу моделювати та коригувати втрати FEPE у детекторах з часом. Завдяки оптимізації товщини DL для Sys1 та Sys2 до 2,77 та 2,82 мм відповідно, відхилення між змодельованими та експериментальними FEPE було менше, ніж 5 %. Крім ядерного приладобудування, ця робота має значення для будь-якого застосування, що вимагає високоточної спектрометрії протягом тривалих експлуатаційних термінів, включаючи ядерну безпеку, аналіз радіоактивних відходів, моніторинг навколишнього середовища, радіаційну метрологію та ядерну криміналістику.

*Ключові слова:* детектор HPGе, ефективність у піку повної енергії, мертвий шар, MCNP, сертифіковані калібрувальні точкові джерела.

К. Abd El Gawad\*, М. H. Hazzaa

*Nuclear Safeguards and Physical Protection Department,  
Nuclear and Radiological Safety Research Center, Egyptian Atomic Energy Authority, Cairo, Egypt*

\*Corresponding author: [khaled\\_science@yahoo.com](mailto:khaled_science@yahoo.com)

## RE-CHARACTERIZATION OF TWO N-TYPE PLANAR HPGе DETECTORS BASED ON EXPERIMENTS AND MONTE CARLO MODELING

Accurate gamma-ray spectrometry using High Purity Germanium (HPGe) detectors relies on precise knowledge of detector efficiency, particularly the full energy peak efficiency (FEPE), which can degrade over extended periods of operation due to the growth of the detector's inactive dead layer (DL). Despite this known issue, DL correction is rarely performed in long operating detectors, and manufacturer specifications are often taken as fixed. This study emphasizes the gap by presenting a combined experimental and Monte Carlo modeling approach to re-characterize two planar n-type HPGe detector systems – Sys1 and Sys2 – that have been in continuous operation for nearly three decades. Although the detectors share virtually identical geometrical designs, they exhibit differences in performance, attributed primarily to variations in DL thickness. Gamma-ray measurements using certified point reference sources (59.5–1332.5 keV) were conducted, and corresponding Monte Carlo N-Particle (MCNP5) simulations were performed to evaluate the effect of DL variation on FEPE and on the active detector volume. Additionally, MCNP was used to apply source activity corrections, taking into account geometric and attenuation effects. The results offer a validated framework for modeling and correcting FEPE losses in aging detectors. By optimizing the DL thickness for Sys1 and Sys2 to 2.77 and 2.82 mm, respectively, the deviation between the simulated and experimental FEPE was reduced to below 5 %. Beyond nuclear instrumentation, this work has implications for any application requiring high-accuracy spectrometry over long operational timelines, including nuclear safeguards, radioactive waste assay, environmental monitoring, radiation metrology, and nuclear forensics.

*Keywords:* HPGe detector, full energy peak efficiency, dead layer, MCNP, certified reference point sources.

## REFERENCES

1. S.-S. Lv et al. Evaluation of the passivation effect and the first-principles calculation on surface termination of germanium detector. *Nucl. Sci. Tech.* **32** (2021) 93.
2. N.Q. Huy. The influence of dead layer thickness increase on efficiency decrease for a coaxial HPGe p-type detector. *Nucl. Instrum. Methods A* **621** (2010) 390.
3. W. Khan et al. Monte Carlo simulation of the full energy peak efficiency of an HPGe detector. *Appl. Radiat. Isot.* **131** (2018) 67.
4. M. Bakr et al. Nondestructive and active interrogation system for special nuclear material: proof of principle and initial results. *Nucl. Sci. Tech.* **35** (2024) 87.
5. L.T.N. Trang et al. Optimization of p-type HPGe detector model using Monte Carlo simulation. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **327** (2021) 287.
6. M. Jeřkovský et al. Experimental and Monte Carlo determination of HPGe detector efficiency. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **322** (2019) 1863.
7. F.P. Cabal et al. Monte Carlo based geometrical model for efficiency calculation of an n-type HPGe detector. *Appl. Radiat. Isot.* **68** (2010) 2403.
8. N.Q. Huy, D.Q. Binh, V.X. An. Study on the increase of inactive germanium layer in a high-purity germanium detector after a long time operation applying MCNP code. *Nucl. Instrum. Methods A* **573** (2007) 384.
9. C.C. Conti, I.C.P. Salinas, H. Zylberberg. A detailed procedure to simulate an HPGe detector with MCNP5. *Prog. Nucl. Energy* **66** (2013) 35.
10. Y.-T. Li et al. Development of a low background neutron detector array. *Nucl. Sci. Tech.* **33** (2022) 41.
11. L.A.O. Giraldo et al. Design and validation of a gamma-ray scanning system for measuring irradiated nuclear fuel. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **331** (2022) 4919.
12. J.F. Briesmeister (Ed.). *MCNP™—A General Monte Carlo N-Particle Transport Code. Version 4C. LA–13709–M. Manual* (Los Alamos National Laboratory, 2000) 790 p.
13. I.V. Prozorova et al. Characterizing the coaxial HPGe detector using Monte Carlo simulations and evolutionary algorithms. *Appl. Radiat. Isot.* **174** (2021) 109748.
14. J.G. Guerra et al. A simple methodology for characterization of germanium coaxial detectors by using Monte Carlo simulation and evolutionary algorithms. *J. Environ. Radioact.* **149** (2015) 8.
15. N.Q. Huy. Dead-layer thickness effect for gamma spectra measured in an HPGe p-type detector. *Nucl. Instrum. Methods A* **641** (2011) 101.
16. T.T.H. Loan al. Determination of the dead-layer thickness for both p- and n-type HPGe detectors using the two-line method. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **315** (2018) 95.
17. G.R. Gilmore. *Practical Gamma-Ray Spectrometry*. 2nd ed. (New York: John Wiley & Sons, 2008) 408 p.
18. M. Hult et al. Determination of homogeneity of the top surface deadlayer in an old HPGe detector. *Appl. Radiat. Isot.* **147** (2019) 182.
19. J. Boson, G. Ågren, L. Johansson. A detailed investigation of HPGe detector response for improved Monte Carlo efficiency calculations. *Nucl. Instrum. Methods A* **587** (2008) 304.
20. N. Krishnan et al. Assessment of the inactive dead layer thickness of old high-purity germanium detector: A study by Monte Carlo simulations and experimental verification. *Radiat. Prot. Environ.* **40** (2017) 69.
21. E. Uyar, M.H. Bölükdemir. Characterization of two p-type HPGe detectors by measurements and Monte Carlo simulations. *Measurement* **204** (2022) 112092.
22. A. Azbouche, M. Belamri, T. Tchakoua. Study of the germanium dead layer influence on HP(Ge) detector efficiency by Monte Carlo simulation. *Radiat. Detect. Technol. Methods* **2** (2018) 45.
23. A. Arectout et al. Assessment of dead layers thickness of an HPGe detector after an extended operating period using response surface methodology and Box–Behnken design. *Radiat. Detect. Technol. Methods* **7** (2023) 599.
24. K. Abd El Gawad, Z. Zhijian, M.H. Hazzaa. Improving the analysis performance of gamma spectrometer using the Monte Carlo code for accurate measurements of uranium samples. *Results in Physics* **17** (2020) 103145.
25. W. El-Gammal. Verification of <sup>235</sup>U mass content in nuclear fuel plates by an absolute method. *Nucl. Instrum. Methods A* **570**(3) (2007) 446.
26. W. El-Gammal et al. Verification of nuclear fuel plates by a developed non-destructive assay method. *Nucl. Instrum. Methods A* **553**(3) (2005) 627.
27. M. Travar et al. Detailed optimization procedure of an HPGe detector using Geant4 toolkit. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **332** (2023) 817.
28. C. Cosar. Efficiency and coincidence benchmarking of Monte Carlo method using <sup>152</sup>Eu source. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **332** (2023) 3009.
29. Y. Ma et al. Wide energy region efficiency calibration study of a prompt gamma activation analysis facility. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **332** (2023) 4009.