

УДК 621.039

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

©Моргунов В. В., Черняк О. М.

Українська інженерно-педагогічна академія

Інформація про авторів:

Моргунов Володимир Вікторович: ORCID: 0000-0002-8681-1941; volodymyr.morgunov@gmail.com; кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

Черняк Олена Миколаївна: ORCID: 0000-0001-6167-8809; olena-cherniak@ukr.net; аспірантка кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

У статті наводиться приклад застосування та ефективність радіаційних технологій в різних галузях виробничої діяльності.

Визначено та обґрунтовано необхідність використання чисельного моделювання в радіаційних технологіях.

Розроблено програмний код на основі GEANT4 з можливістю введення складних геометричних об'єктів. Розроблений код на основі програмного комплексу GEANT4 дозволяє моделювати радіаційну обробку матеріалів. Розроблено відповідний C++ клас для введення джерела випромінювання в програмний код.

Зроблено аналіз результатів розрахованої поглиненої потужності дози з експериментально виміряною.

Ключові слова: радіаційні технології; іонізуюче випромінювання; чисельне моделювання; програмний код; GEANT4.

Моргунов В. В., Черняк Е. Н. «Численное моделирование радиационной обработки материалов».

В статье приводится пример применения и эффективность радиационных технологий в различных отраслях производственной деятельности.

Определены и обоснованы необходимость использования численного моделирования в радиационных технологиях.

Разработан программный код на основе GEANT4 с возможностью ввода сложных геометрических объектов. Разработанный код на основе программного комплекса GEANT4 позволяет моделировать радиационную обработку материалов. Разработан соответствующий C++ класс для ввода источника излучения в программный код.

Проведен анализ результатов рассчитанной поглощенной мощности дозы с экспериментально измеренной.

Ключевые слова: радиационные технологии; ионизирующее излучение; численное моделирование; программный код; GEANT4.

Morgunov V., Cherniak E. “Numerical modeling of radiation treatment of materials”.

The article gives an example of the application and effectiveness of radiation technologies in various industries.

The necessity of using numerical modeling in radiation technologies is determined and justified.

The program code based on GEANT4 with the ability to enter complex geometric objects is developed. The developed code based on the GEANT4 software allows modeling of radiation treatment of materials. A corresponding C++ class was developed for inputting the radiation source into the program code.

The results of the calculated absorbed dose rate from experimentally measured are analyzed.

Key words: radiation technologies; ionizing radiation; numerical modeling; program code; GEANT4.

1. Актуальність роботи

Радіаційні технології широко застосовуються в житті людини. Іонізуюче випромінювання, яке лежить в основі радіаційних технологій, може змінювати фізичні, хімічні та біологічні властивості матеріалів і речовин. Це властивість радіації було виявлено практично відразу після відкриття рентгенівських променів [1] і природної радіоактивності [2]. Джерела іонізуючого випромінювання можуть бути або природні або штучні. В якості природних джерел іонізуючого випромінювання, найчастіше застосовується ізотоп кобальту ^{60}Co . В якості штучних джерел іонізуючого випромінювання використовуються прискорювачі електронів. В даний час гамма-установок налічується понад 500, прискорювачів електронів – понад 1300 [3]. Також, можливо отримання рентгенівського випромінювання на прискорювачах електронів. Поширенню використання рентгенівського випромінювання в промислових масштабах заважає низький ККД трансформації прискорених електронів в рентгенівське випромінювання (~ 10 %).

Радіаційні технології використовуються для:

- стерилізації медичних товарів;
- стерилізації харчових продуктів;
- стерилізація спеціального одягу;
- модифікація полімерів, гум і напівпровідників;
- очищення димових газів;
- очищення і знезараження шламу;
- знезараження музейних експонатів;
- отримання наночастинок.

Радіаційні технології являють собою системи з високою інтеграцією науково-технічних рішень з різних предметних галузей виробничої діяльності. Ефективне використання радіаційних технологій породжує ряд складних науково-технічних завдань, які залежать від виду випромінювання, що використовується, типу радіаційної установки, виду радіаційно-технологічного процесу і об'єктів, що проходять радіаційну обробку.

Основною характеристикою обробки за допомогою радіаційних технологій є поглинена доза, яка показує кількість поглиненої енергії на одиницю маси, Дж/кг або Грей. Поглинена доза визначається експериментальним шляхом. Це затратна по часу і ресурсів процедура. Значно скоротити ці витрати дозволяє чисельне моделювання. Особливо це стосується процедур радіаційної обробки спеціального одягу, музейних експонатів, тому що в даному випадку неможливо проводити тестові випробування не пошкодивши об'єкт обробки.

Технологія машинобудування

Чисельне моделювання в радіаційних технологіях сьогодні є одним з основних інструментів для:

- розрахунку просторових розподілів дози випромінювання в опромінюваних об'єктах при плануванні процесу опромінення;
- пошуку оптимальних режимів роботи і параметрів опромінюваних установок;
- оцінки безпеки режимів роботи опромінюваних установок;
- вибір методів контролю процесу опромінення;
- розробки нових методів обробки продукції та матеріалів.

Тому, успіх застосування іонізуючих випромінювань в радіаційних технологіях в значній мірі залежить від розробки обчислювальних методів і комп'ютерних програм для моделювання процесів опромінення продукції та матеріалів.

Існує близько десятка програмних комплексів для моделювання проходження іонізуючого випромінювання через речовину. В нашій роботі ми використовуємо програмний комплекс GEANT4 [4, 5], розроблений в Європейській організації з ядерних досліджень (ЦЕРН).

2. Результати дослідження

Для проведення чисельного моделювання в програмному комплексі GEANT4 необхідно запрограмувати геометрію, характеристики матеріалу установки і об'єктів що обробляються, активність джерел іонізуючого випромінювання і тощо. Після введення вищезгаданих даних розроблений код необхідно перевірити на відповідність експериментальним даним. З цією метою використовувалися дані Центру радіаційних технологій (Магуреле, Румунія) [6].

В першу чергу, в програмний код була введена камера опромінення (рис. 1).

Потім в програмний код було введено джерело гамма-випромінювання (рис. 2).

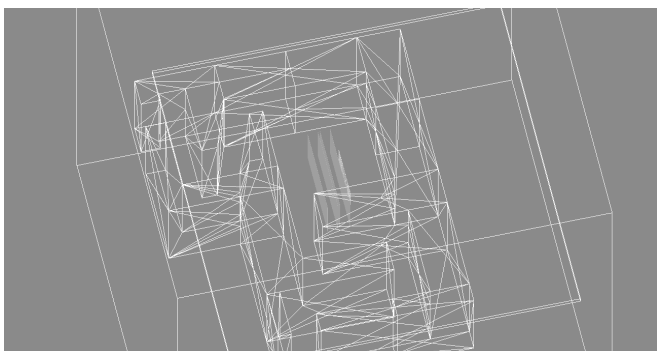


Рис. 1 – Камера опромінення в програмному коді



Рис. 2 – Джерело гамма-випромінювання в програмному коді

Для цього було розроблено відповідний C++ клас для введення джерела випромінювання в програмний код. Синім кольором позначені активні «олівці», що містять кобальт-60, сірим кольором - порожні, неактивні. Всього налічується 396 таких олівців.

Дані по активності кожного «олівця» містяться в .csv файл. У цьому файлі містяться дані: Тип гамма-джерела: плоский або циліндричний.

Тип і розміри використовуваного «олівця».

Кількість модулів.

Кількість рамок.

Кількість «олівців» в модулі.

Кількість модулів у рамці.

Кількість рамок в джерелі випромінювання.

Активність кожного «олівця» на певну дату.

Розроблений C++ клас читає ці дані з .csv файлу і формує джерело випромінювання в програмному коді.

Для введення складних геометричних об'єктів використовувалася бібліотека CADMesh [8].

Валідація програмного коду проводилася шляхом порівняння розрахованої поглиненої потужності дози з експериментально вимірною. Місця вимірювання поглинутої потужності доз наведені на рис. 3.

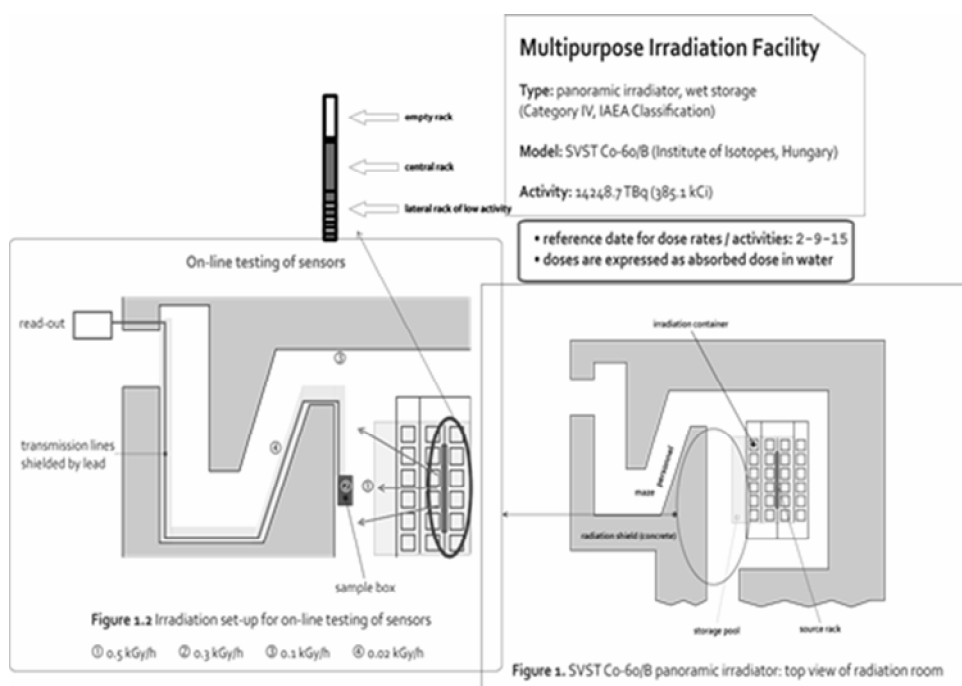


Рис. 1 – Розташування точок, в яких проводилося вимірювання поглинутої потужності доз

Результати чисельних розрахунків і їх порівняння наведені в табл. 1. З таблиці видно, що найгірші результати отримані для точки 4. Це пов'язано, очевидно, з тим, що ця точка знаходиться за бетонною стіною, і як припустили в [7], це пов'язано з неточним припущеннями в GEANT4.

Технологія машинобудування**Таблиця 1** – Результати порівняння вимірної потужності дози до розрахованої

№ точки	Вимірjana потужність дози, кГр/год	Розрахована потужність дози, кГр/год	Відношення вимірної величини до розрахованої
1	0,5	0,719	0,7
2	0,3	0,76	0,83
3	0,1	0,102	0,98
4	0,02	0,004	0,05

Висновки

Розроблено програмний код на основі GEANT4 з можливістю введення складних геометричних об'єктів. Розроблений код на основі програмного комплексу GEANT4 дозволяє моделювати радіаційну обробку матеріалів.

Список використаних джерел:

1. Roentgen W. C. *Uber eine neue Art von Strahlen* / W. C. Roentgen. – *Sitzungsber : Med phys. Ges.*, 1895. – 137 с.
2. Becquerel H. *Emission des radiations nouvelles par l'uranium metallique* / H. Becquerel. – Paris : C. R. Acad, 1896. – 1086 с.
3. Chmielewski A. G. *Radiation technologies: past, present and future* / A. G. Chmielewski, M. Haji-Saeid // *Radiation Physics and Chemistry*. – 2004. – № 71. – С. 17-21.
4. Agostinelli S. *GEANT4 – a simulation toolkit* / S. Agostinelli, J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis et al. // *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*. – 2003. – № 506 (3). – P. 250-303.
5. Allison J. *GEANT4 developments and applications* / J. Allison, K. Amako, J. Apostolakis et al. // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2006. – № 53 (1). – P. 270-278.
6. IRASM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nipne.ro/research/departments/irasm.php>
7. Neutron generator facility at sfu: geant4 dose rate prediction and verification / J. Williams, A. Chester, T. Domingo et al. // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2016. – № 3. – С. 313-325.
8. A CAD Interface for GEANT4 / Christopher Poole, Iwan Cornelius, Jamie Trapp, Christian Langton. // *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*. – 2012. – № 35 (3). – С. 329-334.

References

1. Roentgen, W 1895, *Ueber eine neue art von Strahlen*. *Sitzungsber Phys.-Med. Ges.*, Wuerzburg.
2. Becquerel, H 1896, *Emission des radiations nouvelles par l'uranium metallique*, C. R. Acad, Paris.
3. Chmielewski, A & Haji-Saeid, M 2004, 'Radiation technologies: past, present and future', *Radiation Physics and Chemistry*, no. 71(1-2), pp. 17-21.
4. Agostinelli, S, Allison, J, Amako, K, Apostolakis, J, Araujo, H, Arce, P, Asai, M, Axen, D, Banerjee, S & Barrand, G 2003, 'GEANT4 – a simulation toolkit', *Nuclear instruments and methods in physics research section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, no. 506(3), pp. 250-303.
5. Allison, J, Amako, K, Apostolakis, J, Araujo, H, Dubois, P, Asai, M, Barrand, G, Capra, R, Chauvie, S & Chytracek, R 2006, 'GEANT4 developments and applications', *IEEE Transactions on Nuclear Science*, no. 53(1), pp. 270-278.
6. IRASM, viewed 26 April 2018, <<http://www.nipne.ro/research/departments/irasm.php>>.
7. Williams, J, Chester, A, Domingo, T, Rizwan, U, Starosta, K & Voss, P 2015, 'Neutron generator facility at sfu: geant4 dose rate prediction and verification', *Radiation protection dosimetry*, no. 3, pp. 313–325.
8. Poole, C., Cornelius, I, Trapp, J & Langton, C 2012, 'A CAD Interface for GEANT4', *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*, no. 35(3), pp. 329-334.

Стаття надійшла до редакції 7 травня 2018 р.