

DOI 10.32820/2079-1747-2018-22-142-147

УДК 537.533.35

## **МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПОГЛИНУТОЇ ДОЗИ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА, ЩО ОПРОМІНЮЄТЬСЯ ПРИСКОРЕНИМИ ЕЛЕКТРОНАМИ**

**©Черняк Е. Н., Трищ Р. М., Моргунов В. В.**

*Українська інженерно-педагогічна академія*

### **Інформація про авторів:**

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

**Трищ Роман Михайлович:** ORCID: 0000-0003-3074-9736; [trich\\_r@ukr.net](mailto:trich_r@ukr.net); доктор технічних наук; завідувач кафедри охорони праці, стандартизації та сертифікації; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська, 16, м. Харків, 61003, Україна.

**Моргунов Володимир Вікторович:** ORCID: 0000-0002-8681-1941; [volodymyr.morgunuov@gmail.com](mailto:volodymyr.morgunuov@gmail.com); кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики; 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. Зазначено переваги радіаційних технологій такі як: збільшення продуктивності обробки, зменшення енергоспоживання, економія сировини і матеріалу, зменшення забруднення навколишнього середовища, відповідність екологічним нормам, низькі експлуатаційні витрати, високі економічні показники.

Запропоновано за допомогою прискорених електронів проводити біологічну очистку робочого одягу від мікроорганізмів. Визначено та обґрунтовано необхідність використання чисельного моделювання в радіаційних технологіях.

Отримано математичну залежність поглиненої дози рухомого об'єкта, яка дозволить розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

**Ключові слова:** прискорені електрони, поглинута доза, радіаційна обробка, чисельне моделювання, рухомий об'єкт.

**Черняк Е. Н., Трищ Р. М., Моргунов В. В.** «Методика расчета поглощенной дозы движимого облучаемого объекта ускоренными электронами»

В статье приводится пример применения и эффективность радиационных технологий в различных отраслях производственной деятельности. Отмечено преимущества радиационных технологий такие как: увеличение производительности обработки, уменьшение энергопотребления, экономия сырья и материала, уменьшение загрязнения окружающей среды, соответствие экологическим нормам, низкие эксплуатационные расходы, высокие экономические показатели.

Предложено с помощью ускоренных электронов проводить биологическую очистку рабочей одежды от микроорганизмов. Определены и обоснованы необходимость

использования численного моделирования в радиационных технологиях. Получена математическая зависимость поглощенной дозы подвижного объекта, которая позволит рассчитать технологические режимы процесса радиационной стерилизации биологически зараженного материала специальной одежды.

**Ключевые слова:** ускоренные электроны, поглощенная доза, радиационная обработка, численное моделирование, движущийся объект.

*Cherniak E., Trishch R., Morgunov V.* “Method of calculating the absorbed dose of a movable irradiated object by accelerated electrons”.

The article provides an example of the use and effectiveness of radiation technologies in various sectors of industrial activity. The advantages of radiation technologies such as: increased processing performance, reduced energy consumption, savings of raw materials and materials, reduced environmental pollution, compliance with environmental standards, low operating costs, high economic indicators. It was proposed to carry out biological cleaning of working clothes from microorganisms using accelerated electrons.

The necessity of using numerical simulation in radiation technologies is determined and substantiated. A mathematical dependence of the absorbed dose of a moving object has been obtained, which will make it possible to calculate the technological regimes of the process of radiation sterilization of biologically infected material of special clothing.

**Key words:** accelerated electrons, absorbed dose, radiation processing, numerical simulation, moving object.

## **1. Постановка проблеми**

З розвитком промисловості, в останні роки спостерігається збільшення кількості промислових радіаційних установок, розширення асортименту оброблюваних іонізуючим випромінюванням виробів, розробка та впровадження нових способів і методів радіаційної обробки. Пучки електронів і гальмівне випромінювання широко використовуються в різних промислових радіаційно-технологічних процесах. До таких процесів відносяться стерилізація медичних препаратів та інструментарію, пастеризація і стерилізація харчових продуктів, радіаційна полімеризація і вулканізація, радіаційна обробка сільськогосподарської продукції, розробка нових матеріалів з унікальними властивостями, очищення стічних вод і топкових газів, митний контроль та ін. [1].

Радіаційні технології стерилізації та обробки, відрізняються високим ступенем ефективності, високою продуктивністю, точністю дозування випромінювання, можливістю опромінення запакованих продуктів, відсутністю високого нагріву продукту і як наслідок можливість стерилізації термолабільних об'єктів, а також низькими експлуатаційними витратами і відповідністю прийнятим екологічним нормам. Тому пропонується за допомогою прискорених електронів проводити біологічну очистку робочого одягу від мікроорганізмів.

## **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз робіт, які присвячені використанню радіаційних технологій, показав, що в порівнянні з традиційними термічними або хімічними технологіями, у радіаційних технологіях значні переваги, такі як збільшення продуктивності обробки, зменшення енергоспоживання, економія сировини і матеріалу, зменшення забруднення навколишнього середовища, відповідність екологічним нормам, прецизійний контроль процесу і продукції, що обробляється, отримання продукції вищої якості, низькі експлуатаційні витрати, високі економічні показники [2-5]. У той же час питання, пов'язані з радіаційною стерилізацією спеціального одягу, а особливо одягу який має утеплювачі недостатньо вивчені і розроблені.

Питання розвитку дозиметрії випромінювання постійно обговорюються на координаційних засіданнях Міжнародного Агентства з Атомної Енергії (IAEA) - *Quality Control Methods and Procedures for Radiation Technology*. Зокрема, на цих засіданнях неодноразово доповідалось, що подальший розвиток і успіх радіаційних технологій безпосередньо залежить від розвитку засобів моделювання процесів опромінення, обробки результатів дозиметричних вимірювань і комп'ютерного аналізу.

З питань методів і засобів чисельного моделювання процесів взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, рішенням практичних завдань дозиметрії випромінювання в радіаційних технологіях займалися такі науковці як Акерман А. Ф., Иванов В. И., Кольчужкин А. М., Уваров В. Л., Berger M. J., Hableib J.A., Seltzer S.M., Mehta K., Miller A., Mittendorfer J., Saylor M. C., Tabata T., Weiss D. E.

**Метою статті** є розроблення методики розрахунку поглинутої дози біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу з метою його радіаційної стерилізації.

### **3. Виклад основного матеріалу**

Процес радіаційної стерилізації включає переміщення на конвеєрі ящиків з матеріалом робочого одягу через зону опромінення електронним прискорювачем із заданими параметрами. Відповідно до міжнародних стандартів [6] параметрами процесу стерилізації на прискорювачі є:

- енергія електронів;
- середній струм пучка електронів;
- ширина зони його сканування на поверхні об'єкта стерилізації;
- швидкість переміщення об'єкта стерилізації через зону опромінення (швидкість конвеєра);
- поглинена доза об'єкта стерилізації.

Як відомо, у ході радіаційної обробки поглинена доза контролюється за допомогою дозиметрів. Ця процедура витратна за часом та ресурсами, а в деяких випадках застосування дозиметрів неможливе. Такі ситуації зустрічаються, наприклад, при застосуванні променевої терапії, при очищенні мінеральних та стічних вод і димових газів та ін. У таких випадках для розрахунку поглиненої дози об'єктів, які проходять радіаційну обробку, можуть застосовуватися чисельні методи моделювання. 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;
- оцінювання безпеки режимів роботи опромінюваних установок;
- вибір методів контролю процесу опромінення;
- розробки нових методів обробки різних виробів і матеріалів.

Тому, успіх застосування прискорених електронів в радіаційних технологіях в значній мірі залежить від розробки обчислювальних методів і застосування комп'ютерних технологій для моделювання процесів опромінення обробки різних виробів і матеріалів.

В якості комп'ютерних технологій, що реалізують моделювання проходження іонізуючого випромінювання був обраний програмний комплекс GEANT4 [7]. Обґрунтування вибору даного програмного комплексу розглянуто в [8], де було проведено порівняння з іншими програмними комплексами, що дозволяють моделювати процес проходження іонізуючого випромінювання через матеріал методом Монте-Карло.

Для ефективного застосування обчислювальних методів використовують знання фізики процесу проходження прискорених електронів через речовину. Тому, для розрахунку поглиненої дози  $D_e$  речовиною при проходженні прискорених електронів використовується наступна формула:

$$D_e = 1.6^{-10} \cdot \Phi \cdot \frac{S_{col}}{\rho}, \quad (1)$$

де  $\Phi$  – флюенс електронів (число частинок, які перетинають поверхню одиничної площі)  $\Phi = N/S$ , см<sup>-2</sup>;

$\frac{S_{col}}{\rho}$  – гальмівна здатність речовини, МеВ·см<sup>2</sup>/г.

Проведемо розрахунок ослаблення пучка прискорених електронів при проходженні через повітряний прошарок між джерелом електронів (прискорювачем) і об'єктом, що опромінюється. Нехай прискорювач електронів випромінює монохроматичне пучок прискорених електронів. Число взаємодій (розсіяння і поглинання) в нескінченно тонкому шарі речовини поглинача  $dx$  пропорційне концентрації атомів в речовині поглинача  $n$ , інтенсивності падаючого пучка  $N$ :

$$-dN = \mu' N dx, \quad (2)$$

де  $\mu'$  — лінійний коефіцієнт ослаблення, см<sup>-1</sup>.

Після інтегрування виразу (2) отримуємо закон ослаблення прискорених електронів в речовині поглинача (повітря):

$$N = N_0 e^{-\mu' x}, \quad (3)$$

де  $x$  – товщина поглинача, см;  $N_0$  - початкова інтенсивності падаючого пучка.

Лінійний коефіцієнт ослаблення прискорених електронів в речовині поглинача  $\mu'$  залежить від максимальної енергії випромінювання  $E_{max}$  і властивостей речовини поглинача. В першому наближенні  $\mu'$  залежить від кількості електронів  $n_e$  в одиниці об'єму речовини - по-

глинача. Кількість електронів  $n_e$ , легко визначити за допомогою параметрів  $Z$  і  $A$  та кількості Авогадро  $N_a$  і щільності речовини  $\rho$ , використовуючи співвідношення:

$$n_e = N_a \rho \frac{Z}{A} \quad (4)$$

Вважаючи лінійний коефіцієнт ослаблення  $\mu'$  пропорційним числу електронів  $n_e$ .

$$\mu' = K \cdot n_e, \quad (5)$$

де  $K$  - коефіцієнт пропорційності, отримуємо співвідношення:

$$\mu' = K N_a \rho \frac{Z}{A}. \quad (6)$$

Оскільки відношення  $Z/A$  для різних речовин - поглиначів змінюються в досить вузьких межах (0,5-0,4), практичніше користуватися замість лінійного коефіцієнта ослаблення  $\mu'$  масовим коефіцієнтом ослаблення:  $\mu = \mu'/\rho$  (см<sup>2</sup>/г), який може бути знайдений в [9]. Таким чином ми можемо знайти  $\mu'$  для даної речовини з табличних даних.

Так як опромінення матеріалу робочого одягу в наших умовах проводиться на конвеєрі, то нам треба врахувати швидкість конвеєра, тобто необхідно враховувати час опромінення. Розглянемо зміни, які відбуваються за проміжок часу  $t$ . Так як, за визначенням флюенс дорівнює числу частинок, які перетинають поверхню площею  $S$ :

$$\Phi = \frac{N}{S}, \quad (7)$$

то за час  $t$  конвеєр пройде шлях, що дорівнює добутку швидкості конвеєра на час  $t$ , а площа  $S$  буде дорівнює добутку пройденого шляху на довжину обробленої ділянки об'єкта (довжина ящика, наповненого матеріалом робочого одягу)  $l$ :

$$S = v \cdot t \cdot l \quad (8)$$

І кінцева формула поглиненої дози рухомого об'єкта, що опромінюється приймає наступний вигляд:

$$D_e = 1.6 \cdot 10^{-10} N_0 \frac{e^{-\mu' x}}{v \cdot t \cdot l} \quad (9)$$

Застосовуючи формулу визначення поглиненої дози рухомого об'єкта, що опромінюється (9) можна розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

### **Висновки**

Запропоновано застосовувати прискорені електрони для радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

Отримана математична залежність поглиненої дози рухомого об'єкта, яка дозволить розрахувати технологічні режими процесу радіаційної стерилізації біологічно-зараженого матеріалу спеціального одягу.

### **Список использованных источников:**

1. Алимов А. С. Практическое применение электронных ускорителей / А. С. Алимов. – Москва : НИИЯФ МГУ, 2011. – 41 с. – (Препринт / НИИЯФ МГУ ; № 2011-13/877)
2. Использование ускорителей в геологии, медицине, производстве изотопов и атомная энергетика / Н. П. Дикий [и др.] // Проблемы атомной науки и техники. – 2001. – №1 (37). – С. 26-35.
3. Scharf W. Particles accelerators – applications in technology and research / W. Scharf. – New York : Research Studies Press Ltd, 1989. – 663 p.
4. Забаев В. Н. Применение ускорителей в науке и промышленности / В. Н. Забаев. – Томск : ТПУ, 2008. – 195 с.
5. Zimek Z. EB Industrial Facility for Radiation Sterilization of Medical Devices / Z. Zimek, L. Walis, A. G. Chmielewski // Radiation Physics and Chemistry. – 1993. – Vol. 42. – P. 571-572.
6. ISO 11137-1: 2006: Sterilization of health care products Radiation Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices / ISO / TC 198. – Arlington : American National Standards Institute. – 23 с.
7. GEANT4 developments and applications / J. Allison [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2006. – № 53 (1). – P. 270-278.
8. Моргунов В. В. Численное моделирование определения радиационно-защитных показателей материалов для создания рабочей одежды / В. В. Моргунов, Е. Н. Черняк, Н. В. Диденко // Комунальне господарство міст. – 2015. – № 120 (1). – С. 42–49.
9. Berger M. J. Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions / M. J. Berger, J. Coursey, M. Zucker, J. Chang // NIST Physics Laboratory. – 1998.

#### References

1. Alimov, A 2011, *Prakticheskoe primenenie jelektronnyh uskoritelej*, Moskva.
2. Dikij, N, Dovbnaya, A, Skakun, N & Uvarov, V 2001, 'Ispolzovanie uskoritelej v geologii, medicine, proizvodstve izotopov i atomnaja jenergetika', *Problemy atomnoj nauki i tehniki*, no. 1 (37), pp. 26-35.
3. Scharf, W 1989, *Particles accelerators – applications in technology and research*, Research Studies Press Ltd., New York.
4. Zabaev, V 2008, *Primenenie uskoritelej v nauke i promyshlennosti*, Tomskij politehnicheskij univesitet, Tomsk.
5. Zimek, Z, Walis, L & Chmielewski, A 1993, 'EB Industrial Facility for Radiation Sterilization of Medical Devices', *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 42, pp. 571-572.
6. American National Standards Institute 2006, *Sterilization of health care products Radiation Part 1: Requirements for development, validation and routine control of a sterilization process for medical devices*, ISO 11137-1: 2006, American National Standards Institute, Arlington.
7. Allison, J, Amako, K, Apostolakis, J, Araujo, H, Dubois, P, Asai, M, Barrand, G, Capra, R, Chauvie, S, Chytracsek, R et al, 2006, 'GEANT4 developments and applications', *IEEE Transactions on Nuclear Science*, no. 53 (1), pp. 270-278.
8. Morgunov, V, Cherniak, E & Didenko, N 2015, 'Chislennoe modelirovanie opredelenija radiacionno-zashhitnyh pokazatelej materialov dlja sozdanija rabochej odezhdy', *Komunalne hospodarstvo mist*, no. 120 (1), pp. 42-49.
9. Berger, M, Coursey, J, Zucker, M & Chang, J 1998, *Stopping-power and range tables for electrons, protons, and helium ions*, NIST Physics Laborator.

Стаття надійшла до редакції 27 листопада 2018 р.