

**М. Б. Беляєв**

студент IV курсу ОР Бакалавр

спеціальність **G2** «Технології захисту навколишнього середовища»

науковий керівник: **О. І. Герасимов**

доктор фіз.-мат. наук, професор кафедри екології та охорони довкілля

## **ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІДИСПЕРСНИХ ГРАНУЛЬОВАНИХ МАТЕРІАЛІВ В КОНСТРУКЦІЯХ РАДІАЦІЙНИХ ЗАХИСНИХ ЕКРАНІВ**

**Актуальність дослідження:** Сучасний розвиток ядерної галузі викликає зростаючу потребу у високоефективних технологіях захисту від іонізуючого випромінювання. В останні роки особливу роль в цій галузі відіграють полідисперсні композитні матеріали – багатокомпонентні системи, які поєднують у собі різні за компонентним складом, конфігурацією, та навіть фазовим станом матеріали. Полідисперсні композити демонструють здатність до структурної реорганізації в умовах тривалого опромінення, що суттєво підвищує їх експлуатаційний ресурс, в задачах радіаційного захисту [1]. Іонізуюче випромінювання головним чином складається з:

- $\alpha$ -випромінювання (ядра атома гелію);
- $\beta$ -випромінювання (електрони/позитрони);
- $\gamma$ -випромінювання (фотони);
- нейтронне випромінювання.

Найнебезпечнішими вважаються  $\gamma$ - та нейтронне випромінювання, які мають високу проникну та іонізуючу здатність. Для параметризації та класифікації захисної здатності матеріалів, з яких створюються захисні засоби (екрани) використовують масовий коефіцієнт поглинання  $\mu/\rho$  (вимірюється у  $\text{см}^2/\text{г}$ ) і лінійний коефіцієнт ослаблення  $\mu$  ( $\text{см}^{-1}$ ), які залежать від атомного складу та густини речовини.

Розробка композитних матеріалів, які внаслідок своєї структурної або інженерної композиції здібні зменшувати радіаційне навантаження на об'єкти, які мають бути захищеними, залишається актуальним завданням в галузі технологій захисту навколишнього середовища

**Мета роботи:** Аналіз алгоритму розробки композитних матеріалів, які здібні прогнозовано зменшувати інтенсивність радіаційного опромінення за рахунок регулювання змінними параметрами, як внутрішніми) склад, композиція), так і зовнішніми (інженерна реалізація).

**Результати досліджень та їх обговорення:** Інтенсивність випромінювання, що пронизує завданий шар того чи іншого матеріалу,

наближено оцінюється законом експоненційного ослаблення (закон Бугера-Ламберта):

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x},$$

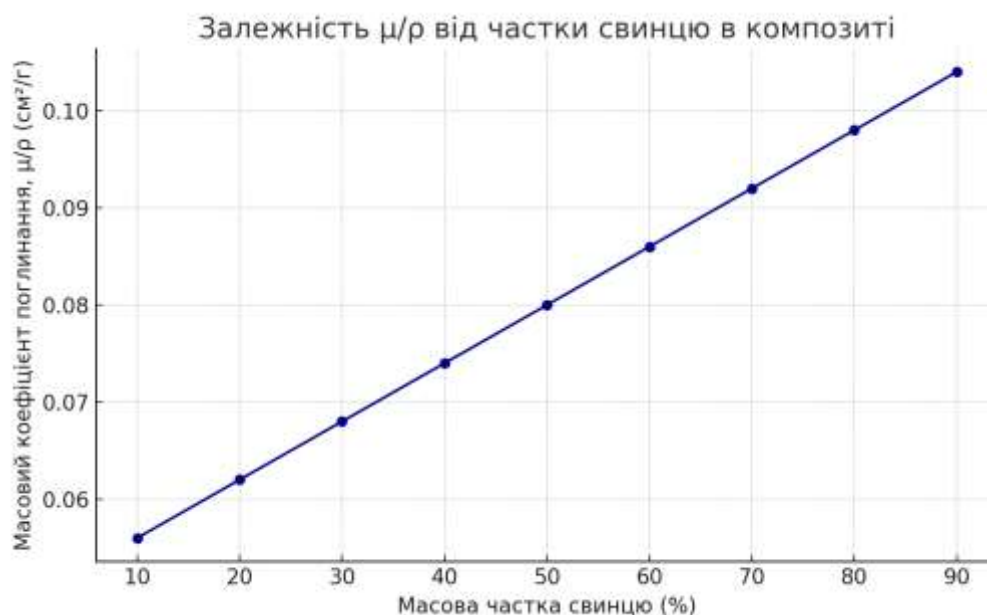
де:

$I_0$  - початкова інтенсивність,

$\mu$  - лінійний коефіцієнт поглинання ( $\text{см}^{-1}$ ),

$x$  - товщина шару (см).

Наприклад, свинцевого матеріалу з  $\mu = 0.32 \text{ см}^{-1}$ , для того, щоб зменшити опромінюючий потік у, скажімо, в 100 разів відносно інтенсивності падаючого випромінювання, потрібно створити шар матеріалу з товщиною:  $x = \ln(100)/0.32 \approx 14.4 \text{ см}$ .



**Рисунок 1** – Залежність масового коефіцієнта поглинання від частки свинцю в композиті

Полідисперсність — це наявність у матеріалі частинок різного розміру, що забезпечує можливість їх більш щільного впакування по відношенню до монодисперсних середовищ і більш ефективніше заповнення об'єму (зменшення вільного об'єму). Поєднання мікро- і макродисперсних частинок у композиційному середовищі, яке формується за допомогою інжекції домішкових компонентів дозволяє зменшити пустотність і збільшити густину без помітного збільшення маси [2]. Це має вирішальне значення для створення мобільних і легкозамінюємих екранів в задачах конструювання пристроїв радіаційного захисту.

Розглянемо приклад простих розрахунків захисних параметрів композиту на основі свинцю, бариту та цементної матриці.

Проаналізуємо захисні параметри полідисперсного радіаційного захисного екрану, який складається із трьох компонентів, а саме :

- 50% свинцевих мікрочастинок ( $\mu/\rho = 0.11 \text{ см}^2/\text{г}$ ),
- 30% бариту ( $\text{BaSO}_2$ ,  $\mu/\rho = 0.07 \text{ см}^2/\text{г}$ ),
- 20% цементної матриці ( $\mu/\rho = 0.05 \text{ см}^2/\text{г}$ ).

Загальний масовий коефіцієнт поглинання знайдемо за допомогою очевидних міркувань за співвідношенням:

$$\mu/\rho = 0.5 \times 0.11 + 0.3 \times 0.07 + 0.2 \times 0.05 = 0.055 + 0.021 + 0.01 = 0.086 \text{ см}^2/\text{г}$$

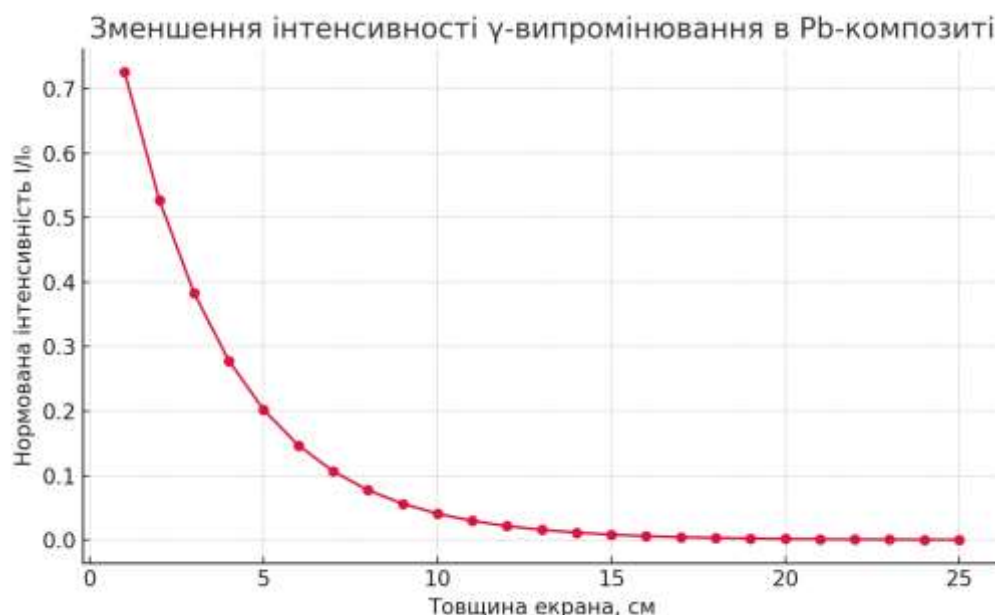
Припускаючи (за довідниками) густину композиту (нехай амбієнтну)  $\rho = 4.2 \text{ г}/\text{см}^3$ , лінійний коефіцієнт ослаблення знаходимо за формулою :

$$\mu = 0.086 \times 4.2 = 0.361 \text{ см}^{-1}$$

В результаті отримуємо, що для ослаблення падаючого випромінювання у 100 разів, нам потрібен шар матеріалу товщиною :

$$x = \ln(100)/0.361 \approx 12.75 \text{ см}$$

На рис.1 представлена залежність проникаючої здібності від товщини композиту



**Рисунок 2** – Експоненційне (за законом Бугера) зниження інтенсивності випромінювання в залежності від товщини багатокомпонентного композиту

В табл.1 наведені результати порівняльного аналізу деяких характеристик багатокомпонентного (полідисперсного) та монодисперсного композиту [2].

**Таблиця 1** – Порівняльний аналіз характеристик композитів та простих монодисперсних матеріалів

<b>Критерій</b>	<b>Полідисперсний (багатокомпонентний) композит</b>	<b>Монодисперсний матеріал</b>
Склад матеріалу	Складається з частинок різного розміру, форми та хімічного складу	Складається з частинок однакового розміру і часто з одного матеріалу
Ефективність радіаційного захисту	Вища, завдяки можливості комбінувати компоненти з різним поглинанням	Залежить від одного компонента, тому менш універсальна
Щільність пакування частинок	Вища, бо менші частинки заповнюють порожнини між більшими	Нижча, через однакові розміри частинок і більшу пористість
Контроль над спектром випромінювання	Можливість захисту від іонізуючих випромінювань широкого діапазону	Ефективність обмежена спрямованістю до певного типу випромінювання
Механічні властивості	Покращені за рахунок щільнішої структури та комплексного підходу	Можуть бути гіршими через однорідну структуру
Складність виготовлення	Вища — потребує точного дозування і змішування компонентів	Просте виготовлення з однорідного матеріалу
Ціна виробництва	Вища через складність складу і технологій	Нижча через простіший склад
Термостійкість та стабільність	Може бути вищою, якщо компоненти підібрані правильно	Залежить від єдиного матеріалу
Гнучкість дизайну	Висока — дозволяє адаптувати композит під конкретні умови	Обмежена — зміна параметрів потребує повної заміни матеріалу

### **Висновки:**

1. Проведений порівняльний аналіз показує, що композитні матеріали на основі полідисперсних матеріалів дозволяють підвищити ефективність поглинання  $\gamma$ - та нейтронного випромінювання за рахунок адаптації компонентного складу [3].

2. Найкращі результати ( в сенсі ефективності захисту) очікуються при використанні важких компонентів (свинець, барит) в матриці з низьким Z(бетон).

3. Оцінки проведені до свинцево-барито-бетонного композиту доводять, що для зниження інтенсивності опромінювання у 100 разів потрібен шар композиту товщиною 12–14 см .

4. Як показує приведений порівняльний аналіз композитні матеріали з регульованим гранулометричним складом та структуризацією, як за фізико-хімічними характеристиками так і за економічними і навіть екологічними показниками та ефективністю складають новітній перспективний напрям розробки адаптивних систем екранування від іонізуючого випромінювання [4].

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Герасимов О. І., Співак А. Я., Сідлецька Л. М. Фізичні механізми процесів, на яких базуються технології очистки та дезактивації забруднених систем : монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2024. 98с. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/13061>

2. Gerasymov O. The oretical Models of Composite Materials for the Protection Technologies. *E3S WebofConferences*. 2024. Vol.477, International Conferenceon Smart Technologies and Applied Research (STAR'2023). ArticleNumber 00008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202447700008>

3. Gerasymov O., Spivak A., Andrianova I., Sidletskaya L., Kuryatnikov V., Kilian A. Micro-mechanical (granular) mixtures for environmental safety technologies. *E3S WebofConferences*. 2021. Vol. 234. The International Conferenceon Innovation, Modern Applied Science & Environmental Studies (ICIES2020) Kenitra, Morocco (December 25-27, 2020). ArticleNumber 00075. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202123400075>

4. Gerasymov O.I., Andrianova I.S., Spivak A.Y., Sidletskaya L.M., Kuryatnikov V.V., Kilian A.M. Tightening (Compaction) of Bi-Component Micromechanical (Granular) System [Ущільнення (компактизація) впакування у бі-компонентній мікромеханічній (гранульованій) суміші]. *Scienc eand Innovation*. 2021. Vol. 17, No. 4. P. 79-88. <https://doi.org/10.15407/scine17.04.079>