

РОЗРАХУНОК ГАММА-ПОЛІВ У СВЕРДЛОВИНІ, ЩО ПРОХОДИТЬ ЧЕРЕЗ ВИСОКОАКТИВНИЙ ШАР ҐРУНТУ

М. І. Панасюк, А. Д. Скорбун

Міжгалузевий науково-технічний центр "Укриття" НАН України, Чорнобиль

Виконано розрахунок полів у свердловині, яка проходить через тонкий шар високоактивного ґрунту. Розраховано поправочні коефіцієнти для врахування впливу обсадних труб, товщини активного шару.

Особливістю радіоактивного забруднення ґрунтів навколо зруйнованого 4-го енергоблока ЧАЕС є існування порівняно тонкого (потужністю до 1 м) шару високоактивного ґрунту. Цей шар утворився в результаті випадіння на земну поверхню дрібнодиспергованого палива, яке в процесі ліквідації аварії, будівельних робіт було перемішане з верхнім шаром ґрунту. Потім для зменшення дозових навантажень на персонал цю забруднену територію було засипано чистим ґрунтом (бетон, пісок, щебінь). Зараз ця територія (локальна зона об'єкта "Укриття") є, по-перше, джерелом радіоактивних відходів, що утворюються в процесі земляних робіт, коли видобувається ґрунт із вказаного високоактивного шару, а по-друге - джерелом забруднення підземних вод.

На відміну від ситуації з використанням гамма-каротажу для розвідки уранових руд, де гамма-поля в свердловинах складають одиниці мілірентген за годину, наявність у ґрунтах локальної зони об'єкта "Укриття" високоактивного шару ґрунту (максимальні поля в свердловинах 5 - 7 Р/год) приводить до того, що вплив його відчувається на значно більшій відстані, ніж так звана відстань повного поглинання гамма-випромінювання, менша за 0,5 м.

Контроль за забрудненням підземних вод і підрахунок запасів радіоактивних відходів проводиться з використанням свердловин, що буряться на вказаній території. Як виявилось, у процесі проходки свердловини через активний шар є можливим перенесення часток високоактивного ґрунту з нього в нижні шари. Через високу активність навіть відносно невелика кількість перенесеного ґрунту помітно спотворює результати гамма-каротажу й приводить до хибних висновків про наявність забруднених ґрунтів у фактично чистій зоні. Тому при оцінюванні радіоактивного забруднення ґрунтів, що прилягають до активного шару, виникає необхідність враховувати його вплив і моделювання, і теоретичні оцінки цих ефектів є практично необхідним завданням.

Методика розрахунків. Розрахунки виконувались з використанням рівнянь [1], які було модифіковано відповідно до наших умов і наведено в додатку разом з параметрами розрахунків. Для порівняння розрахунків з експериментом було використано модель свердловини,

що проходить через радіоактивний шар ґрунту певної потужності [2]. Геометрію моделі та розрахунків показано на рис. 1. Діаметр моделі 130 см, активний шар і оточуючий ґрунт - пісок. У [3] було експериментально показано, що для випромінювання ^{137}Cs гамма-поле у свердловині на 98 % забезпечується шаром піску товщиною 40 см. Тому наведена на рис. 1 модель свердловини, товщина шару піску в якій по радіусу дорівнює 60 см, можна вважати еквівалентною нескінченному по горизонталі активному шару. У зв'язку з цим використане

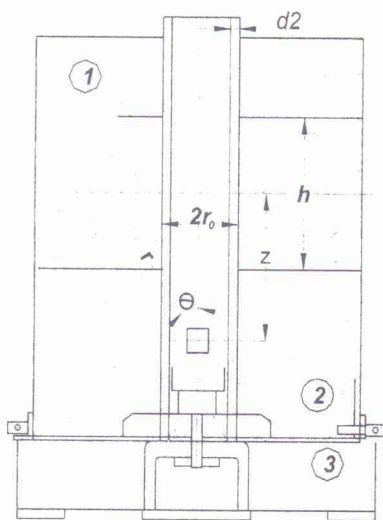


Рис. 1. Схема моделі свердловини:
1 – шар радіоактивного піску; 2 – обсадна труба; 3 – вузол кріплення обсадних труб.

інтегрування в нескінченних межах (див. додаток) можна вважати правомірним. Усі оцінки зроблено для ^{137}Cs . Урахування фактора накопичення зроблено шляхом введення ефективного коефіцієнта поглинання [4]. Тобто лінійний коефіцієнт поглинання для піску, що є основним розсіюючим середовищем, замінюється на дещо менший, при якому розрахована величина поля відповідає реальним значенням. Ефективний коефіцієнт поглинання можна одержати [1] з виразу $\mu_{\text{eff}} = 4\pi k_{\gamma} \rho / I_{\infty}$, де k_{γ} - гамма-стала для забруднюючого радіонукліда, ρ - щільність ґрунту, I_{∞} - поле в нескінченному середовищі, що утворюється при вмісті радіонукліда 1 Бк/г. Використані наближення, правильність роботи та можливості програми було перевірено в [5]. Наведені нижче результати розрахунків дають відповідь на поставлені вище питання.

Розрахунок коефіцієнтів для визначення потужності активного шару. Часто за кривою гамма-каротажу оцінюють потужність активного шару. Зазвичай для такої оцінки використовують ширину піка на рівні $1/2$ чи $4/5$ від максимуму $I_{\text{макс}}$, яку треба помножити на відповідний поправочний коефіцієнт [1, 6]. Ці коефіцієнти для випадку забруднення ^{137}Cs невідомі. Форма кривої зміни величини гамма-поля по осі свердловини, тобто форма піка на діаграмі гамма-каротажу, однозначно пов'язана з потужністю активного шару. Приклад розрахованої ширини піка кривої гамма-каротажу на рівні $4/5 I_{\text{макс}}$ залежно від потужності активного шару, з якої можна одержати вказаний коефіцієнт для методу " $4/5$ ", наведено на рис. 2.

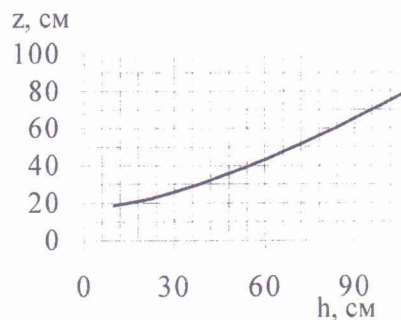


Рис. 2. Залежність ширини піка діаграми гамма-каротажу на рівні $4/5 I_{\text{макс}}$ від потужності активного шару. Радіус свердловини $r_0 = 12,5$ см, $\rho = 1,7$ г/см³.

Розподіл гамма-поля по осі свердловини.

Графік розподілу гамма-поля по осі свердловини нижче активного шару показано на рис. 3. Розрахунок виконано для випадків відсутності та наявності обсадної труби.

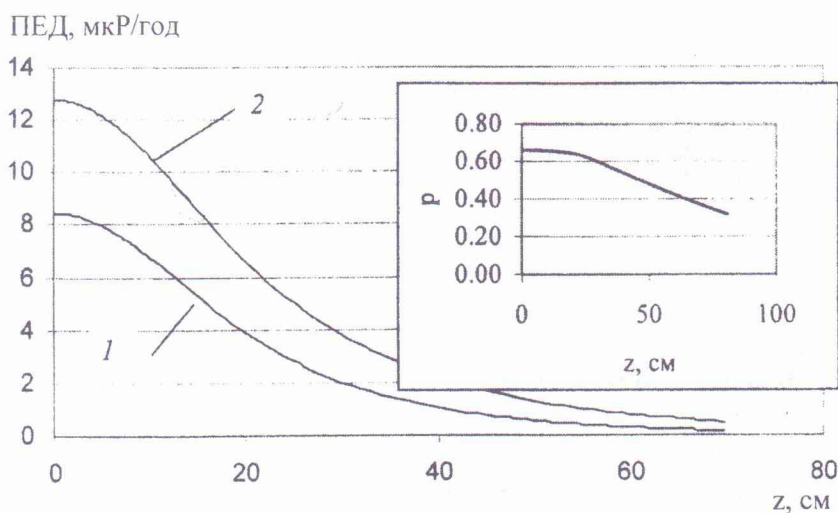


Рис. 3. Розрахунок поля по осі свердловини: 1 – з обсадною трубою, 2 – без обсадної труби. На врізі показано співвідношення цих кривих p .

Оскільки фонові значення потужності експозиційної дози (ПЕД) у чистих ґрунтах складають близько 10 мкР/год, нас цікавить, на яких відстанях вклад від активного шару досягне фонового рівня. Тобто беручи до уваги, що максимальні ПЕД у центрі активного шару досягають рентгенів за годину, треба визначити відстань, на якій поле зменшується

приблизно в мільйон разів. Виявилось, що для необсаженої свердловини діаметром 127 мм це 8,8 м, а для обсаженої сталевими трубами з товщиною стінки 7 мм - близько 2,2 м. Тому при аналізі діаграм гамма-каротажу за межами активного шару треба бути обережним, особливо у випадках, коли свердловини обсажено пластмасовими трубами.

Із рис. 3 видно також, що поправочний коефіцієнт на обсадні труби в даній геометрії вимірювань залежить від відстані до активного шару.

На рис. 4 порівнюються результати експериментальних вимірювань і теоретичних розрахунків для моделі свердловини з рис. 1. Можна бачити, що теоретичні й експериментальні дані добре узгоджуються, особливо коли взяти до уваги, що точність вимірювальних приладів 20 - 30 %. З рисунка також видно, що експериментальні дані трохи зміщені вліво, що свідчить, на наш погляд, про несиметричність кутової залежності чутливості детектора.

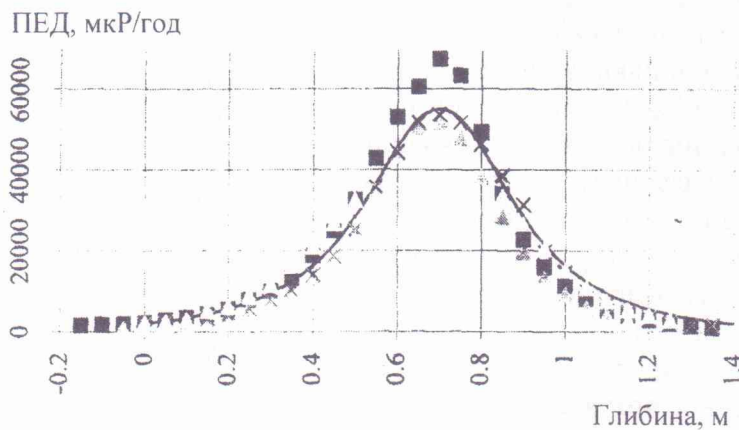


Рис. 4. Розрахункова крива та експериментальні значення гамма-поля вздовж свердловини (див. рис. 1): суцільна лінія – теорія; умовні позначення – експериментальні дані, одержані різними приладами.

Висновок

Зроблено теоретичний розрахунок полів для свердловини, що проходить через високоактивний шар ґрунту. Показано, що в такій геометрії вплив активного шару відчувається на значній відстані від нього і це треба враховувати при обробці даних гамма-каротажу. Розраховано коефіцієнти, що дають змогу оцінювати за даними гамма-каротажу ширину активного шару.

Додаток

Формули та вихідні дані для розрахунку полів по осі свердловини (геометрію див. рис. 1).

μ - коефіцієнт поглинання гамма-променів; $\mu_{Fe} = 0,572^{-1}$ см – коефіцієнт поглинання для заліза; $\mu_{нов} = 0,000094^{-1}$ см – коефіцієнт поглинання для повітря; $\mu_{обс}$ – коефіцієнт поглинання для обсадної труби. Залежно від типу розрахунків замість μ підставляються: $\mu_{эф} = 0,055^{-1}$ см – ефективний коефіцієнт поглинання; $\mu_n = 0,1314^{-1}$ см – коефіцієнт поглинання для піску; $\rho = 1,7$ г/см³ - щільність ґрунту (піску); $k_\gamma = 0,088$ (мкР·см²)/(г·Бк) - гамма-стала для ¹³⁷Cs; q – питома активність ґрунту, Бк/г; $P = \mu_{обс} \cdot d_2 + \mu_{нов}(r_0 - d_2)$.

$$C = \frac{2\pi k_\gamma \rho q}{\mu}; \quad \theta_1 = \arctg \frac{r_0}{z + h/2}; \quad \theta_2 = \arctg \frac{r_0}{z - h/2}; \quad \theta = \arctg \frac{r}{h/2 - z}.$$

Поле в межах активного шару:

$$M(z, h) = C \cdot \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta + C \cdot \int_{\theta_3}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\mu\left(\frac{h/2 - z}{\cos \theta} - \frac{r_0}{\sin \theta}\right) - \frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta - \\ - C \cdot \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\mu\left(\frac{z + h/2}{\cos \theta} - \frac{r_0}{\sin \theta}\right) - \frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta - C \cdot \int_{\theta_3}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta. \quad (D1)$$

Поле за межами активного шару:

$$M(z, h) = C \cdot \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta + C \cdot \int_{\theta_2}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\mu\left(\frac{z + h/2}{\cos \theta} - \frac{r_0}{\sin \theta}\right) - \frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta - \\ - C \cdot \int_{\theta_1}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\mu\left(\frac{z + h/2}{\cos \theta} - \frac{r_0}{\sin \theta}\right) - \frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta - C \cdot \int_{\theta_2}^{\pi/2} \left[\exp\left(-\frac{P}{\sin \theta}\right) \right] \sin \theta d\theta. \quad (D2)$$

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Радиометрические методы поисков и разведки урановых руд. - М.: Госгеолтехиздат, 1957. - С. 610.
2. Панасюк Н. И., Скорбун А. Д., Павлюченко Н. И. и др. Определение пересчетного коэффициента для гамма-каротажа скважин в условиях локальной зоны объекта "Укрытие" // Проблемы Чернобиля. - 2002. - Вип. 9. - С. 105 - 109.
3. Панасюк Н. И., Калиновский А. К., Малюк А. И. и др. Результаты исследований на модели скважины для оценки удельных активностей ^{137}Cs в грунтах локальной зоны объекта "Укрытие" и промплощадки ЧАЭС с использованием гамма-каротажа // Наукові та технічні аспекти міжнародного співробітництва в Чорнобилі. Зб. наук. ст. Вип. 3. - Київ: Вища шк., 2001. - С. 494 - 499.
4. Хайкович И. М., Шашкин В. Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. Теория и методика. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - С. 158.
5. Панасюк Н. И., Скорбун А. Д. Теоретическое описание модели скважины с активным слоем // Проблемы Чернобиля. - 2004. - Вип. 14. - С. 56 - 58.
6. Шашкин В.Л. Опробование радиоактивных руд по гамма-излучению. - М.: Атомиздат, 1972. - С. 184.

РАСЧЕТ ГАММА-ПОЛЕЙ В СКВАЖИНЕ, ПРОХОДЯЩЕЙ СКВОЗЬ ВЫСОКОАКТИВНЫЙ СЛОЙ ГРУНТА

Н. И. Панасюк, А. Д. Скорбун

Выполнен расчет полей в скважине, проходящей сквозь тонкий слой высокоактивного грунта. Рассчитаны поправочные коэффициенты для учета влияния обсадных труб, толщины активного слоя.

CALCULATION OF GAMMA FIELDS IN THE BOREHOLE THAT PASS THROUGH HIGHLY ACTIVE LAYER OF SOIL

M. I. Panasyuk, A. D. Skorburn

The calculation of the fields in a borehole, that pass through thin layer of soil with high activity have been carried out. The correction coefficients to take into account the influence of casing, active layer thickness have been calculated.

Надійшла до редакції 19.03.04,
після доопрацювання – 20.05.04.