

УДК 614.7:621.039.7(083)

С. М. Кондратьєв, О. О. Кіліна,
Є. П. Кадкін, В. М. Домніков

Державний науково-технічний центр з ядерної
та радіаційної безпеки

Достовірність сортування радіаційно забруднених ґрунтів при виконанні земляних робіт на проммайданчику об'єкта "Укриття" Чорнобильської АЕС

Розглянуто питання достовірного сортування радіаційно забрудненого ґрунту при виконанні земляних робіт на майданчику об'єкта "Укриття" під час будівництва нового безпечного конфайнменту. Запропоновано критерії достовірності сортування, засновані на вимогах до обмеження поточного та потенційного опромінення.

Запропоновано варіант сортування, заснований на вимірюванні картограми потужності експозиційної дози та обмеженні товщини шару одноразово добуваного ґрунту.

С. Н. Кондратьєв, Е. А. Кіліна, Е. П. Кадкін, В. Н. Домніков

**Достоверность сортировки радиационно загрязненных
грунтов при выполнении земляных работ на промпло-
щадке объекта «Укрытие» Чернобыльской АЭС**

Рассмотрены вопросы достоверной сортировки радиационно загрязненного ґрунта при выполнении земляных работ на площадке объекта «Укрытие» во время строительства нового безопасного конфайнмента. Предложены критерии достоверности сортировки, основанные на требованиях по ограничению текущего и потенциального облучения.

Предложен вариант сортировки, основанный на измерении картограммы мощности экспозиционной дозы и ограничении толщины слоя одноразово извлекаемого ґрунта.

Під час будівництва нового безпечного конфайнменту (НБК) та інших споруд в рамках реалізації міжнародного Плану здійснення заходів на об'єкті "Укриття" Чорнобильської АЕС за достатньо короткий термін необхідно вилучити близько 100–150 тис. м³ радіаційно забруднених ґрунтів та інших матеріалів (технологічних матеріалів — ТМ) [1].

Поводження з такою великою кількістю забруднених ТМ є дуже складною проблемою, в першу чергу через потребу вилучити їх у короткі терміни. При цьому мають бути дотримані вимоги безпеки.

Держатомрегулювання, МОЗ та Мінприроди України з метою впорядкування та оптимізації процесу поведження з ТМ і виконання його у безпечний спосіб встановили додаткові до чинних нормативних документів України вимоги [2].

Згідно з [2], технологічний процес будівництва НБК та інших споруд (у тому числі виконання земляних робіт) має бути організований так.

1. У замкнутому циклі технологічного процесу земляних робіт, за яким звичайно споруджуються фундаменти (вилучення ґрунтів, тимчасове складування, зворотне засипання), можуть бути використані тільки ті ґрунти, що мають потужність експозиційної дози (ПЕД) не більше 30 мР/год (тут і надалі мається на увазі ПЕД на відстані 10 см від поверхні ґрунту).

Для тимчасового складування (як частини технологічного циклу) вимагається облаштувати спеціальний майданчик [2], застосовуючи всі необхідні заходи безпеки (запобігання розповсюдженню радіоактивних речовин у повітря та ґрунтові води, запобігання несанкціонованому доступу, контроль тощо). На Чорнобильській АЕС такий майданчик (майданчик ТМ) з упровадженням необхідних заходів безпеки облаштовано, він зараз експлуатується.

Згідно з [2], зворотне засипання (як завершення технологічного циклу) може виконуватися за умови неперевищення ступеню існуючого забруднення в місцях засипки, екранування ґрунтових вод та верхнього шару, дотримання інших вимог безпеки.

Для забезпечення цих вимог ґрунти різного ступеню забруднення (ПЕД < 1 мР/год; від 1 до 10 мР/год; від 10 до 30 мР/год) мають складуватися на окремих ділянках майданчика ТМ.

Зазначимо, що норми безпеки не забороняють використання радіоактивних матеріалів в певних технологічних процесах (у тому числі й розглядуваному), якщо це виправдано та дотримуються необхідні вимоги.

2. Інші ТМ мають бути захоронені в приповерхневому сховищі (на сьогодні є можливість захоронення тільки на ПЗРВ "Буряковка"). Частина ТМ, радіоактивне забруднення яких перевищує критерії приймання приповерхневим сховищем, має бути контейнеризована та розміщена для тимчасового зберігання в спеціальних сховищах на майданчику ЧАЕС.

3. За відсутності технічних можливостей одночасної передачі на захоронення в приповерхневому сховищі великих обсягів ТМ, їх частину дозволяється тимчасово складувати на майданчику ТМ, розмішуючи на окремих ділянках ґрунту з ПЕД від 30 до 50 мР/год та забруднені конструкції з питомою поверхневою активністю до 8000 β-част./(см²·хв) та до 80 α-част./(см²·хв).

У разі появи технічних можливостей ці ТМ мають бути передані на захоронення.

Важливим для безпеки і в той самий час проблемним питанням дотримання зазначеного порядку поведження

з радіоактивно забрудненими ґрунтами є достовірність їх сортування відповідно до встановлених радіаційних критеріїв [2]. Це питання ускладнюється необхідністю вилучення та сортування ґрунтів в достатньо короткі строки. З одного боку, потрібно з достатньою достовірністю розділити ґрунти згідно з радіаційними критеріями, в тому числі виявити локальні джерела, які можуть екрануватися шарами ґрунту. З іншого боку, виконати радіаційні вимірювання кожного окремого "елементарного" об'єму ґрунту складно. Аналізуючи цю проблему, розглянемо вимоги до достовірності контролю та процедури вимірювання.

Якщо ґрунт має рівномірне забруднення або локальне джерело розташоване на поверхні ґрунту, то вимірювання ПЕД над поверхнею ґрунту забезпечує однозначне сортування (в межах похибки технічних засобів вимірювання). Отже, питання достовірності сортування зводиться до виявлення більш інтенсивних джерел під шаром ґрунту.

Джерела, ПЕД яких вища за встановлені критерії, в технологічному процесі вилучення та подальшого поводження з ґрунтами аж до їх тимчасового складування на майданчику ТМ мають бути виявлені з достатньою достовірністю, виходячи з обмежень поточного та потенційного опромінення персонала, який виконуватиме роботи з ґрунтами, складованими на майданчику ТМ.

У НРБУ-97/Д-2000 [3] встановлено обмеження на ймовірність потенційного опромінення залежно від потенційної дози. Для персоналу [3, табл. 2.2] ці значення, зокрема, такі:

- 10^{-2} на рік при ефективній дозі 100 мЗв на подію і менше;
- менше $2 \cdot 10^{-4}$ на рік при ефективній дозі понад 100 мЗв на подію (але при поглинаючій дозі 1000 мГр на подію) і менше. Тут мається на увазі критична подія, тобто подія, що безпосередньо спричиняє реалізацію потенційного опромінення.

Базуючись на цих вимогах НРБУ-97/Д-2000, встановимо першу умову: при ПЕД $P_{\delta} > 1$ Р/год практично гарантується виявлення локальних джерел (припускаючи консервативно, що ці джерела можуть призвести до дози потенційного опромінення понад 100 мЗв).

При роботі з ґрунтом персонал протягом року отримує дозу зовнішнього поточного опромінення $D = D_2 + D_{\delta}$, де D_2 — доза, обумовлена рівномірно забрудненим ґрунтом, D_{δ} — доза, обумовлена локальними джерелами. Встановимо другу умову, що при повторному використанні ґрунту (після того, як він складований на майданчику ТМ) річна доза D_{δ} поточного опромінення має бути малою по відношенню до D_2 , тобто $D_{\delta}/D_2 < 10^{-1}$.

Вищезазначені дві умови використовуватимемо як критерії для оцінки достовірності сортування ґрунтів.

Перед вилученням ґрунтів з певної ділянки обов'язково має вимірюватися картограма ПЕД цієї ділянки, а шар одноразово добуваного ґрунту ґрунту має бути обмеженим. Виконання цих вимог дає змогу вже на початковому етапі вилучення ґрунтів частково виконати їх сортування.

Зробимо аналіз достовірності сортування на цьому етапі в залежності від кроку та геометрії вимірювань картограми ПЕД, а також товщини шару ґрунту, що вилучається.

Розглянемо ґрунт як композицію рівномірно забрудненого ґрунту, ПЕД якого дорівнює P_2 , та локального джерела, ПЕД якого дорівнює P_{δ} (рис. 1). Значення P_2 та P_{δ} відповідають розташуванню вимірювального приладу (датчика) на відстані $l_0 = 10$ см над поверхнею ґрунту або над джерелом (без екранування). Введемо такі позначення: l — відстань від датчика до локального джерела; h — глибина знаходження джерела всередині ґрунту; r — відстань від

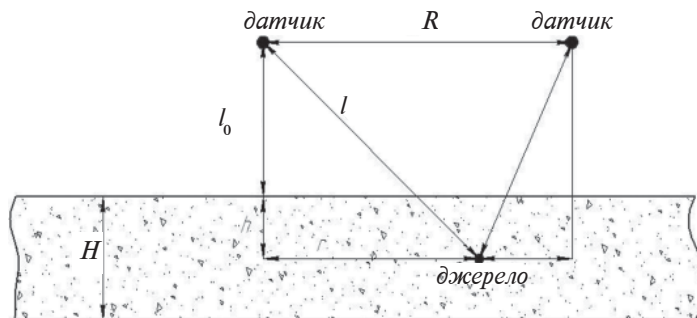


Рис. 1. Схема дослідження шару ґрунту

вертикальної осі розміщення датчика; R — крок вимірювання картограми ПЕД; H — товщина одноразово добуваного ґрунту.

Показання датчика дорівнюють $P = P_2 + P'_{\delta}$, де P'_{δ} менше ніж P_{δ} за рахунок збільшення відстані ($l > l_0$) та екранування шаром ґрунту. Джерело ідентифікується, коли показання датчика перевищують граничне (порогове) значення P_{\max} , тобто при $P_2 + P'_{\delta} > P_{\max}$ або $P'_{\delta} > P_{\max} - P_2$.

Отже, при заданих величинах P_2 та P_{δ} достовірність сортування на першому етапі вилучення ґрунту залежить від багатьох параметрів: порогу сортування (P_{\max}), кроку вимірювання картограми ПЕД (R), товщини шару добуваного ґрунту (H).

При аналізі залежності достовірності сортування від цих параметрів для різних значень заданих величин P_2 та P_{δ} були розраховані показання датчика P для геометрії, наведеної на рис. 1, за допомогою програми MicroShield v 5.01 [4]. Розрахунки і аналіз мали на меті розробку відповідних методичних рекомендацій щодо вибору оптимізованих параметрів вимірювання ПЕД та товщини шару добуваного ґрунту. При цьому не ставилося завдання дати точні розрахунки достовірності сортування.

У процесі аналізу за базовий варіант бралися ґрунти із забрудненням у діапазоні від 10 до 30 мР/год (середнє значення цього діапазону $P_2 = 20$ мР/год) і локальні джерела з $P_{\delta} = 50, 100, 200, 500$ та 1000 мР/год (див. на початку статті та в [2] відповідні радіаційні критерії сортування ґрунтів).

Для $P_2 = 20$ мР/год аналізувалася достовірність сортування при різних значеннях P_{\max} , а також при різних комбінаціях параметрів R та H . Далі на основі аналізу вибрано оптимізовані значення параметрів R та H і вже з цими параметрами проаналізовано достовірність сортування при інших значеннях P_2 .

Залежність від P_{\max} . За показник ефективності знаходження локальних джерел можна розглядати об'єм ґрунту V_K , в якому виявляється локальне джерело при вимірюваннях ПЕД в одній точці (контрольований об'єм), тобто за умови $P'_{\delta} > P_{\max} - P_2$. Для оцінювання V_K виконано розрахунок координат розташування джерела в ґрунті за умови, що $P'_{\delta} = P_{\max} - P_2$, для значень параметрів $P_2 = 20$ мР/год, $P_{\max} = 30$ та 25 мР/год, $P_{\delta} = 50$ та 500 мР/год (рис. 2).

"Внутрішній" об'єм, обмежений ізометричними поверхнями, відповідає умові $P'_{\delta} > P_{\max} - P_2$, тобто є контрольованим об'ємом V_K .

Як видно з рис. 2, при зменшенні порогового значення P_{\max} від 30 до 25 мР/год об'єм V_K значно збільшується: для $P_{\delta} = 50$ мР/год — утричі (від 0,006 до 0,019 м³); для $P_{\delta} = 500$ мР/год — удвічі (від 0,12 до 0,22 м³).

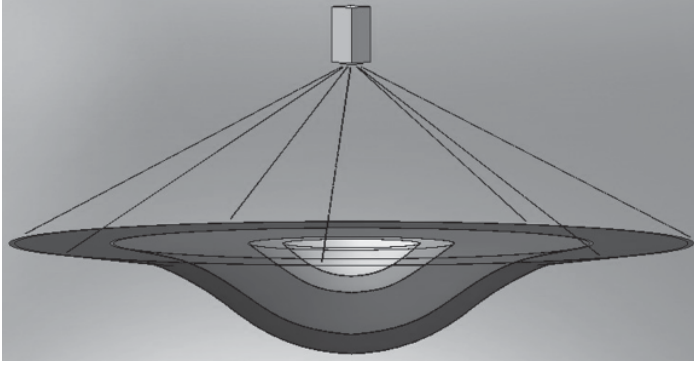


Рис. 2. Графічне зображення ізометричних поверхонь розташування джерела в ґрунті за умови $P'_\partial = P_{\max} - P_2$ при $P_{\max} = 30$ та 25 МР/год і $P_\partial = 50$ та 500 МР/год від комбінації $P_{\max} = 30$ МР/год та $P_\partial = 50$ МР/год (верхня поверхня) до $P_{\max} = 25$ МР/год та $P_\partial = 500$ МР/год (нижня поверхня)

З іншого боку, із зменшенням P_{\max} частину ґрунту певного діапазону забруднення при сортуванні буде віднесено до більш забрудненого діапазону (наприклад, при $P_{\max} = 25$ МР/год — 25 % ґрунту з діапазону забруднення 10–30 МР/год).

Потрібно обрати оптимізоване значення P_{\max} , враховуючи вищезазначені два протилежних фактори:

- 1) збільшення контрольованого об'єму ґрунту V_K ;
- 2) зменшення кількості ґрунту, що потрапляє в інтервал 10–30 МР/год (частина ґрунту переводиться в “бруднішу” категорію).

Візьмемо за таке оптимізоване значення $P_{\max} = 25$ МР/год, враховуючи, що, з одного боку, при цьому об'єм V_K збільшується в 2–3 рази (по відношенню до $P_{\max} = 30$ МР/год, що відповідає верхній межі діапазону 10–30 МР/год), а з іншого боку, до забрудненішої категорії буде переведено тільки 25 % ґрунту, що взагалі не так багато і є прийнятним.

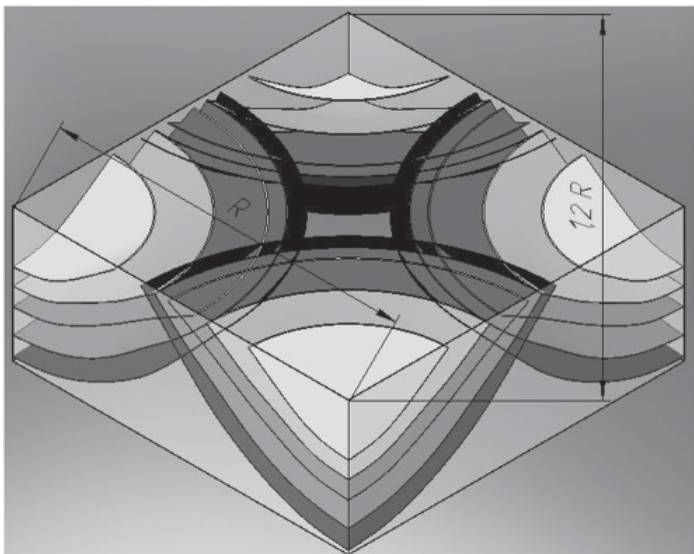


Рис. 3. Ізометричні поверхні, що відповідають умові $P'_\partial = P_{\max} - P_2$ при значеннях $P_\partial = 50, 100, 200, 500$ та 1000 МР/год, від $P_\partial = 50$ МР/год (верхні ізометричні поверхні) до 1000 МР/год (нижні ізометричні поверхні)

Залежність від R та H . Аналіз залежності від параметрів R та H виконано для $P_2 = 20$ МР/год та оптимізованого значення $P_{\max} = 25$ МР/год, а розрахунок ізометричних поверхонь розташування локальних джерел в ґрунті — за умови, що $P'_\partial = P_{\max} - P_2 = 5$ МР/год для різних значень P_∂ : 50, 100, 200, 500 та 1000 МР/год.

На рис. 3 зображено модель (ізометричні поверхні та контрольовані об'єми ґрунту) дослідження ділянки ґрунту розміром 1×1 м з припущенням, що картограма ПЕД вимірюється з кроком 1 м. Точки вимірювання — кути верхньої поверхні паралелепіпеду. Перетин контрольованих об'ємів є доволі складною фігурою, тому при оцінках використовувалися спрощення. На моделі ділянки ґрунту можна побачити два граничних варіанти: сторона паралелепіпеду з мінімальною відстанню між точками вимірювання R та діагональ паралелепіпеду з максимальною відстанню $\sqrt{2} \cdot R \approx 1,4 \cdot R$.

Імовірність “пропуску” локального джерела дорівнює відношенню неконтрольованого об'єму V_H до еквівалентного об'єму ґрунту ділянки V_0 : $W = \frac{V_H}{V_0}$, де $V_H = V_0 - V_K$, $V_0 = \frac{\pi}{4} R^2 \cdot H$.

Оцінки W виконано нижче в залежності від інтенсивності джерела P_∂ для значень $R = 1$ та $0,5$ м, $H = 0,3; 0,2$ та $0,1$ м.

Об'єм контрольованого ґрунту V_K дорівнює сумі вказаних на рис. 3 об'ємів, обмежених ізометричними поверхнями, для окремих точок вимірювань (чверть об'єму в кожній точці) за винятком частин об'ємів, що перетинаються.

На рис. 4, як приклад, наведено об'єм контрольованого ґрунту за винятком частин, що перетинаються. Припускалося, що контрольований об'єм — фігура, отримана при обертанні вказаних на рис. 4 границь між частинами ґрунту, що контролюються і не контролюються, для різних інтенсивностей локальних джерел та двох значень R . В оцінках використовувалося усереднене значення відстані між точками вимірювань $1,2 \cdot R$. На рисунку представлено відповідні усереднені значення: 1,2 м для $R = 1$ м; 0,6 м для $R = 0,5$ м. Як згадувалося вище, реальна контрольована область є більш складною фігурою, а зроблене припущення є заміною цієї складної фігури на спрощену з усередненими розмірами.

З використанням даних припущення виконано оцінки значень V_K для локальних джерел різної інтенсивності при $R = 1$ та $0,5$ м, $H = 0,1; 0,2$ та $0,3$ м.

На рис. 4 жирною лінією показано границі контрольованої частини ґрунту за винятком частин, що перетинаються, і частин, що не входить до товщини шару ґрунту $H = 0,2$ м.

У табл. 1 та на рис. 5 надано результати оцінок значень імовірності “пропуску” локальних джерел $W = \frac{V_H}{V_0} = (1 - \frac{V_K}{V_0})$.

Таблиця 1. Значення ймовірності “пропуску”

локального джерела W при різному кроці вимірювання R та різній товщині шару ґрунту H

$P, \text{ МР/ч}$	$1,2 \cdot R = 1,2 \text{ м}$			$1,2 \cdot R = 0,6 \text{ м}$		
	$H = 0,1 \text{ м}$	$H = 0,2 \text{ м}$	$H = 0,3 \text{ м}$	$H = 0,1 \text{ м}$	$H = 0,2 \text{ м}$	$H = 0,3 \text{ м}$
50	0,85	0,92	0,94	0,39	0,67	0,78
100	0,66	0,78	0,86	0,02	0,33	0,56
200	0,43	0,60	0,73	0,00	0,09	0,36
500	0,23	0,39	0,53	0,00	0,00	0,10
1000	0,09	0,23	0,37	0,00	0,00	0,00

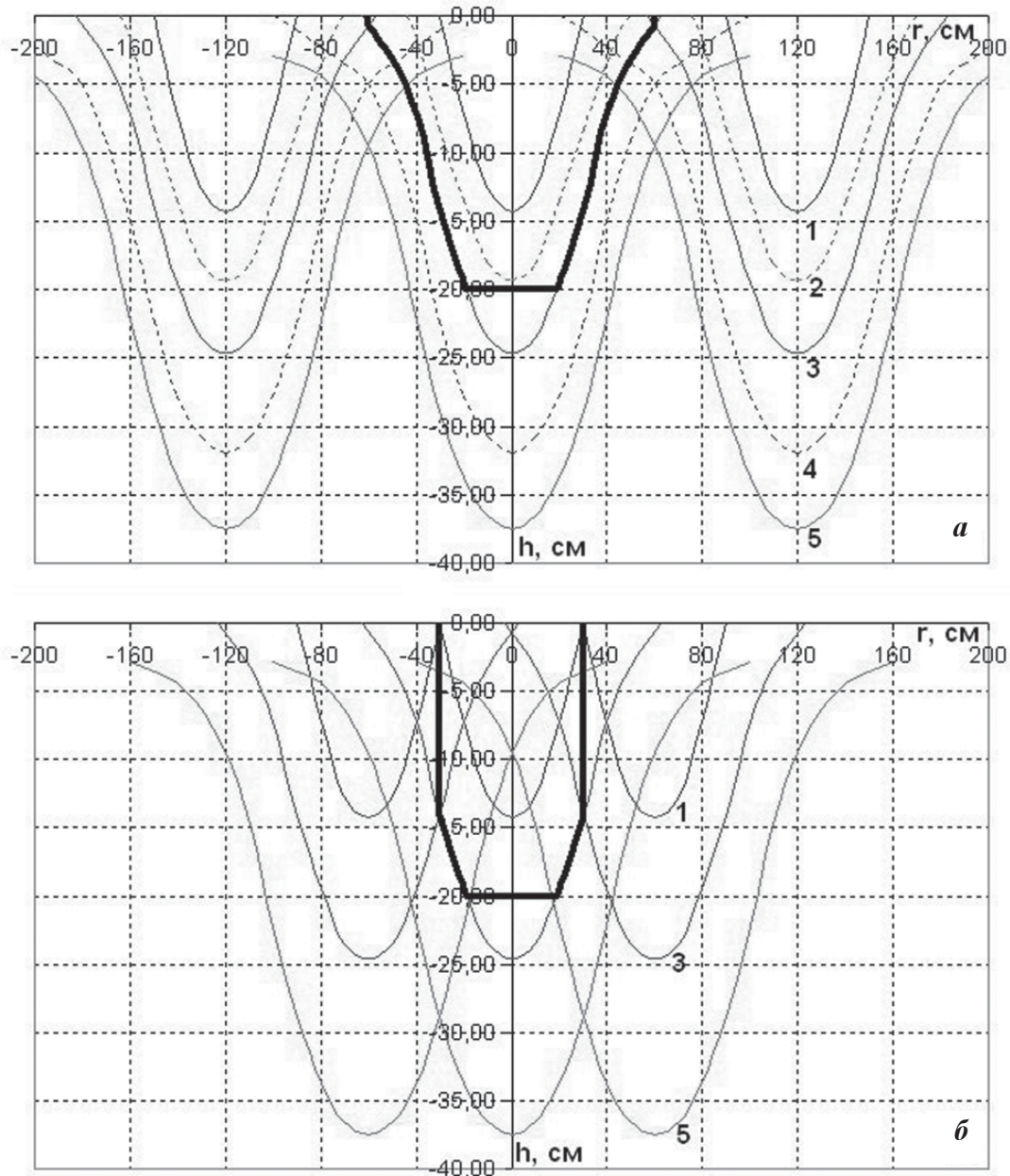


Рис. 4. Границі між контрольованими та неконтрольованими частинами ґрунту в залежності від інтенсивності локального джерела P_0 (1 — 50 мР/год, 2 — 100 мР/год, 3 — 200 мР/год, 4 — 500 мР/год, 5 — 1000 мР/ч) для усереднених значень відстаней між точками вимірювань $1,2ЧR$: а — 1,2 м, б — 0,6 м (r і h — крок вимірювань відповідно значень R і H)

Згідно з наведеними оцінками, для кроку вимірювання $R = 1$ м імовірність "пропуску" джерела $W > 0,1$ навіть для мінімального значення шару ґрунту $H = 0,1$ м, тобто умова гарантованого виявлення високоактивних локальних джерел з $P \geq 1000$ мР/год не виконується. Отже, крок вимірювання $R = 1$ м занадто великий.

З кроком вимірювання $R = 0,5$ м оцінена ймовірність "пропуску" джерела є значно меншою (оцінку виконано зі спрощеннями — див. вище):

з $P \geq 1000$ мР/год — дорівнює нулю, тобто виявлення гарантується;

з $P < 1000$ мР/год — нижче 10^{-2} для більшої частини діапазону значень P_0 при $H = 0,1$ та $0,2$ м, але при $H = 0,3$ м практично у всьому діапазоні значень P_0 перевищує 10^{-2} .

З наведеного випливає, що крок вимірювання має бути не більше за $0,5$ м, а товщина одноразово добуваного ґрунту, найімовірніше, не більше за $0,2$ м. Слід відмітити, що, з точки зору технічних можливостей, трудозатрат, термінів виконання земляних робіт тощо, одноразове знімання шару завтовшки менше $H = 0,2$ м проблематично.

Подальші розрахунки та аналіз виконано саме з цими геометричними параметрами ($R = 0,5$ м, $H = 0,2$ м).

У табл. 2 та на рис. 6 наведено результати оцінок значень імовірності "пропуску" локальних джерел W при різних значеннях ПЕД ґрунту: $P_2 = 10, 15$ та 20 мР/год та при граничному значенні $P_{\max} = 25$ мР/год.

З рис. 6 видно, що ймовірність "пропуску" джерела збільшується зі зменшенням P_2 . При цьому умова практично

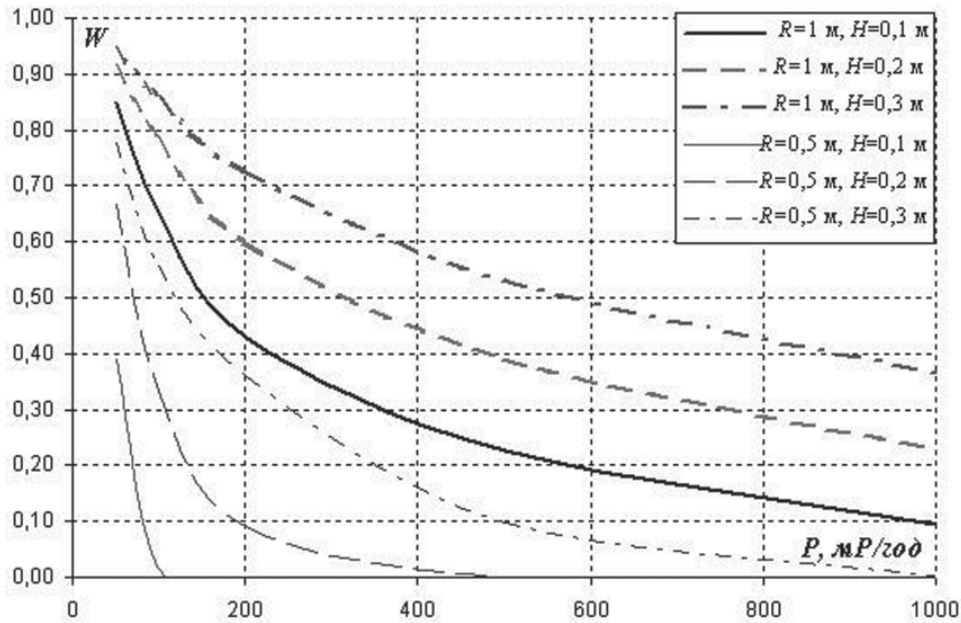


Рис. 5. Ймовірність "пропуску" локальних джерел в залежності від їх значення P при різному кроці вимірювання R та різній товщині шару ґрунту H

гарантованого знаходження джерел з $P_0 = 1000$ мР/год для P_2 у діапазоні від 10 до 15 мР/год виконується не в повній мірі ($W \approx 10^{-2}$).

Проаналізуємо виконання умови $D_0/D_2 < 10^{-1}$.

Доза $D_2 = K_2 \cdot P_2 \cdot t_2$, де P_2 — ПЕД рівномірно забрудненого ґрунту; t_2 — час роботи персоналу з ґрунтом і, відповідно, час опромінення персоналу; K_2 — усереднений коефіцієнт переходу від $(P_2 \cdot t_2)$ до дози опромінення.

Доза D_0 , на відміну від дози D_2 , має ймовірнісний характер внаслідок випадкового знаходження в ґрунті локальних джерел.

Усереднена доза $\overline{D_0} = K_0 \cdot \overline{P_0} \cdot \overline{t_0}$, де $\overline{P_0}$ — усереднене значення ПЕД локальних джерел, виявлених під час роботи; $\overline{t_0}$ — усереднений час роботи з локальними джерелами і, відповідно, усереднений час опромінення персоналу; K_0 — усереднений коефіцієнт переходу від $(\overline{P_0} \cdot \overline{t_0})$ до дози опромінення.

Умова $D_0/D_2 < 10^{-1}$ має виконуватися і при варіанті реалізації річної дози D_0 , яка значно вища за середнє значення. Збільшення дози D_0 відносно середнього значення може бути пов'язано зі збільшенням P_0 джерел, що виявляються, а також зі збільшенням кількості цих джерел.

Оскільки джерела з $P_0 > 1$ Р/год практично гарантовано мають бути вилучені, то P_0 може збільшуватися не більш як до 0,5 Р/год при $\overline{P_0} = 0,1$ Р/год (див. рис. 6 для $P_2 = 20$ мР/год), тобто консервативно не більше ніж у 5 разів.

Таблиця 2. Значення ймовірності "пропуску" локального джерела W при кроці вимірювання $R = 0,5$ м, товщині шару ґрунту $H = 0,2$ м та $P_2 = 10, 15, 20$ мР/год

P , мР/год	$P_2=10$ мР/ч	$P_2=15$ мР/ч	$P_2=20$ мР/ч
50	0,95	0,89	0,67
100	0,82	0,66	0,33
200	0,54	0,34	0,09
500	0,13	0,06	0,00
1000	0,02	0,01	0,00

Враховуючи також можливість збільшення і кількості джерел (відносно середнього значення), візьмемо збільшення D_0 відносно $\overline{D_0}$ на порядок. Тоді умова $D_0/D_2 < 10^{-1}$ виглядатиме як $\overline{D_0}/D_2 < 10^{-2}$.

Відповідно до вищевикладеного

$$\frac{\overline{D_0}}{D_2} = \frac{K_0 \cdot \overline{P_0} \cdot \overline{t_0}}{K_2 \cdot P_2 \cdot t_2} < \frac{\overline{P_0} \cdot \overline{t_0}}{P_2 \cdot t_2},$$

оскільки відношення K_0/K_2 взагалі має бути менше 1 (персонал знаходиться далі від локального джерела, ніж від масиву ґрунту по відношенню до розташування вимірювального приладу — датчика).

Таким чином, друга умова має вигляд $\frac{\overline{P_0} \cdot \overline{t_0}}{P_2 \cdot t_2} < 10^{-2}$.

Виконати аналіз конкретних обставин, за яких персонал може бути опромінено при використанні ґрунтів з майданчика ТМ (наприклад, при зворотній засипці), неможливо. Припустимо, що персонал виконує ці роботи з ґрунтом за таких самих обставин, як і при вилученні ґрунтів та їх розміщенні на майданчику ТМ. Також припустимо, що локальні джерела з P_0 від 50 до 1000 мР/год розподілені в ґрунті рівномірно. Тоді

$$P_2 = P_2^e, \quad \overline{P_0} = \frac{\sum W(P_i) \cdot P_i}{\sum W(P_i)}, \quad t_2 = t_2^e, \quad \overline{t_0} = \overline{W} \cdot \overline{t_0^e}$$

(тут індекс "e" означає, що параметр віднесено до робіт із вилучення ґрунту і поводження з ним).

Позначимо другу умову через A :

$$A = \frac{\overline{P_0} \cdot \overline{t_0}}{P_2 \cdot t_2} = \overline{W} \cdot \frac{\overline{t_0^e}}{t_2^e} \cdot \frac{\overline{P_0}}{P_2^e} = a \cdot \overline{W} \cdot \frac{\overline{P_0}}{P_2^e} < 10^{-2}.$$

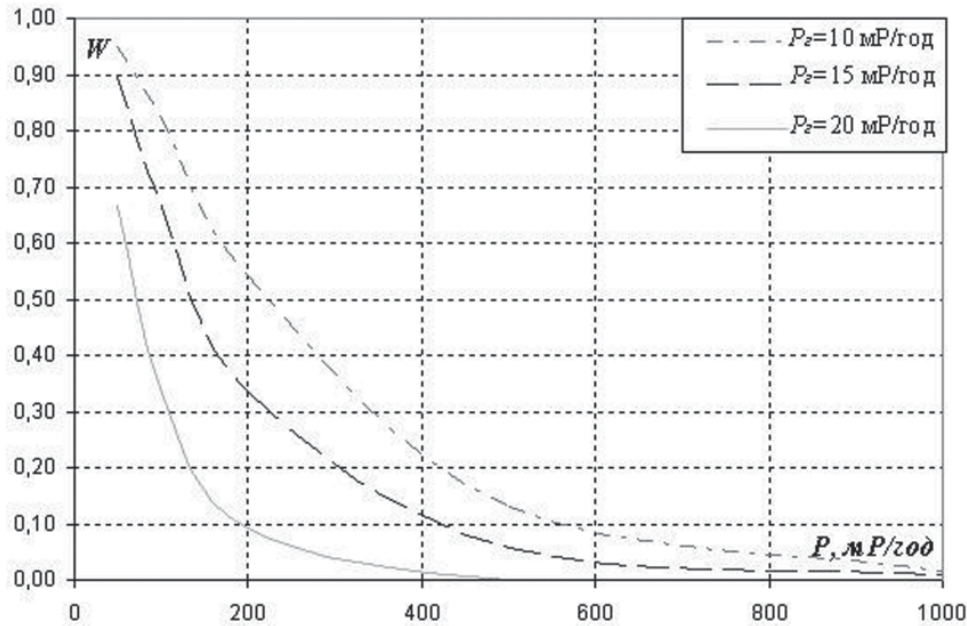


Рис. 6. Ймовірності "пропуску" локальних джерел в залежності від їх інтенсивності P_0 при кроці вимірювання $R = 0,5$ м, товщині шару ґрунту $H = 0,2$ м та $P_2 = 10, 15, 20$ мР/год

Співвідношення $a = \frac{\bar{t}_0^6}{t_2^6}$ є відношенням $\frac{N_0}{N_{заг}}$, де N_0 — кількість точок, в яких було знайдено локальні джерела; $N_{заг}$ — кількість вимірювань точок картограми ПЕД.

Далі розглянуто три варіанти наявності локальних джерел в ґрунті: $a = 0,1$ — часто; $a = 0,01$ — середньо; $a = 0,001$ — рідко.

Величини \bar{W} та \bar{P}_0 оцінено з використанням залежностей $W(P)$, представлених на рис. 5 для $P_2 = 10, 15$ та 20 мР/год.

Результати оцінок \bar{W} , \bar{P}_0 та величини A наведені в табл. 3.

З табл. 3 видно, що нерівність $A < 10^{-2}$ виконується при $a = 0,001$ і, в основному, при $a = 0,01$, тобто для випадків середнього і рідкого знаходження локальних джерел в ґрунті, і не виконується для випадку, коли локальні джерела зустрічаються в ґрунті часто ($a = 0,1$).

Додаткове сортування можна виконати вже на майданчику ТМ.

Після вимірювання картограми ПЕД на ділянці, де виконуються земляні роботи, і вилучення виявлених локальних джерел ґрунт перевозиться на майданчик ТМ, де його знов розрівнюють шаром завтовшки $H = 0,2$ м і проводять вимірювання картограми ПЕД з кроком вимірювання $R = 0,5$ м.

У разі виявлення локальних джерел з ПЕД більше за 50 мР/год їх вилучають.

Оцінимо достовірність додаткового сортування. Розподіл локальних джерел залежно від P_0 в ґрунті, розміщеному на майданчику ТМ, матиме вигляд

Таблиця 3. Результати оцінок \bar{W} , \bar{P}_0 та A

Оцінювані величини		$P_2 = 10$ мР/ч	$P_2 = 15$ мР/ч	$P_2 = 20$ мР/ч
\bar{W}		0,26	0,17	0,07
\bar{P}_0		248	197	108
A	$a = 0,1$	3,2E-01	1,7E-01	3,8E-02
	$a = 0,01$	3,2E-02	1,7E-02	3,8E-03
	$a = 0,001$	3,2E-03	1,7E-03	3,8E-04

$N(P_0) = W(P_0)$, де $W(P_0)$ — ймовірність "пропуску" локальних джерел при першому сортуванні на ділянках до вилучення ґрунту.

Локальні джерела, що залишаються в ґрунті після сортування на майданчику ТМ, можна описати залежністю $N(P_0) = W^2(P_0)$, де $W^2(P_0)$ — ймовірність "пропуску" локальних джерел після двох етапів вимірювання картограми ПЕД (на ділянках до вилучення ґрунту та на майданчику ТМ) (рис.7).

З рис. 7 видно, що умова практично гарантованого виявлення джерел з $P_0 > 1000$ мР/год в результаті двохетапного сортування виконується.

Результати оцінок $\bar{W}_2 = \bar{W}^2$, $\bar{P}_{02} = \frac{\sum W^2(P_i) \cdot P_i}{\sum W^2(P_i)}$ та величини $A_2 = a \cdot \bar{W}_2 \cdot \frac{\bar{P}_{02}}{P_2^6}$ після двохетапного сортування наведено в табл. 4.

З табл. 4 видно, що нерівність $A_2 < 10^{-2}$ виконується при $a = 0,001$ і $a = 0,01$, тобто при середньому і рідкому знаходженні локальних джерел в ґрунті достовірність двохетапного сортування оцінюється як достатня.

З іншого боку, достовірність двохетапного сортування недостатня для ґрунту, в якому локальні джерела зустрічаються часто ($a = 0,1$).

Таблиця 4. Залежність \bar{W}_2 , \bar{P}_{02} та A_2 від значень P_2 та параметра a після двохетапного сортування на ділянці до вилучення ґрунту та на майданчику ТМ

Оцінювані величини		$P_2 = 10$ мР/ч	$P_2 = 15$ мР/ч	$P_2 = 20$ мР/ч
\bar{W}_2		0,15	0,09	0,03
\bar{P}_{02}		148	111	67
A ₂	$a = 0,1$	1,1E-01	4,8E-02	9,9E-03
	$a = 0,01$	1,1E-02	4,8E-03	9,9E-04
	$a = 0,001$	1,1E-03	4,8E-04	9,9E-05

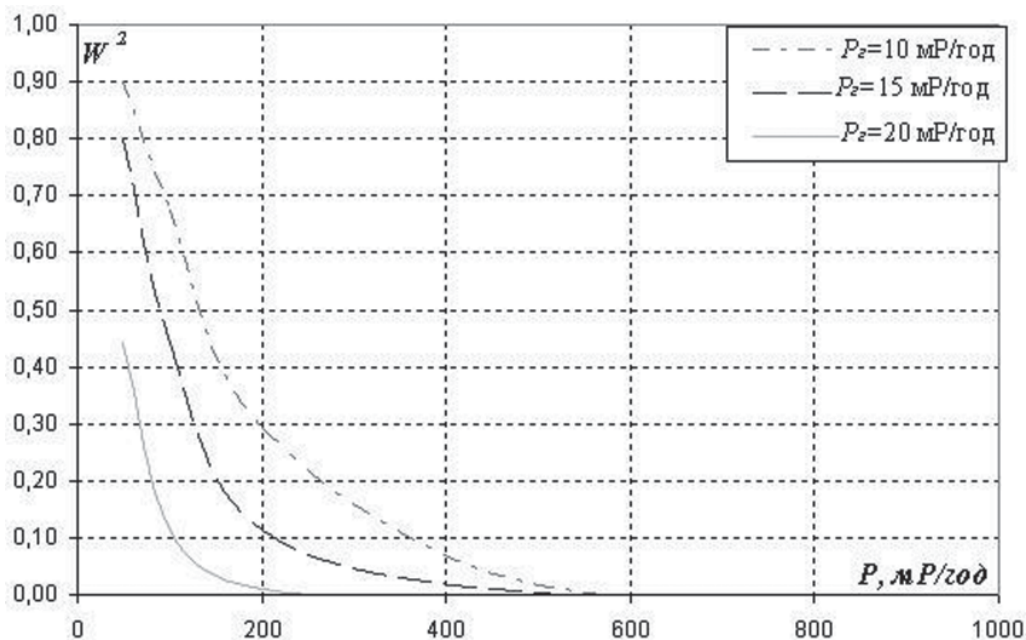


Рис. 7. Ймовірності "пропуску" локальних джерел W^2 після двохетапного сортування на ділянці до вилучення ґрунту та на майданчику ТМ

Зазначимо, що технологічні процедури вилучення такого ґрунту будуть складними і займуть багато часу, оскільки перед зняттям шару ґрунту потрібно буде вилучати з нього досить багато локальних джерел.

Враховуючи недостатню достовірність сортування та технологічні складнощі, ґрунт, в якому локальні джерела зустрічаються часто, рекомендується не розміщати на майданчику ТМ і, відповідно, — не сортувати за критеріями, встановленими для майданчика ТМ, а відправляти на захоронення.

Висновок

Критерії достовірності сортування можуть бути встановлені на основі нормативних документів щодо обмеження поточного та потенційного опромінення персоналу, який в майбутньому виконуватиме роботи з ґрунтами при їх повторному використанні, з дотриманням таких вимог: доза поточного опромінення від можливого знаходження локальних джерел має давати малий вклад в річну дозу опромінення; високоактивні джерела мають бути практично гарантовано вилучені.

У статті показано, що ці умови для ґрунтів, у яких більш інтенсивні джерела зустрічаються не часто, можуть бути виконані, як варіант, у такий спосіб.

Перед вилученням ґрунтів з певної ділянки обов'язково має вимірюватися картограма ПЕД цієї ділянки з кроком не більш як 0,5 м, а шар одноразово добуваного ґрунту має бути обмеженим (не більш як 0,2 м).

Більш інтенсивні джерела при їх виявленні вилучаються до зняття шару ґрунту. Далі, після складування ґрунту на спеціальному майданчику, він розрівнюватиметься шаром завтовшки до 0,2 м, після чого знову вимірюватиметься картограма ПЕД з кроком не більше ніж 0,5 м.

Ґрунти, в яких більш інтенсивні джерела зустрічаються часто, доцільно відправляти на захоронення.

Література

1. Концептуальний проект Нового безпечного конфайнмента. — Чорнобиль, 2004.
2. Класифікація ґрунтів та інших матеріалів, які утворюються при виконанні земляних робіт під час реалізації плану здійснення заходів на об'єкті "Укриття". — К., 2004.
3. Норми радіаційної безпеки України. Доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). Державні гігієнічні нормативи ДГН 6.6.1.-6.5.061-2000. — К., 2000.
4. Worku G., Negin C. A. MicroShield. — Maryland: Grove Engineering, Inc., 1995.

Надійшла до редакції 19.12.2008.