

УДК 502(045)

О.О. Вовк, канд. техн. наук, доц.
А.Є. Гай, канд. фіз.-мат. наук, доц.
О.В. Рябчевський, мол. наук. співроб.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ДЕФОРМАЦІЇ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

Наведено класифікацію ступеня небезпеки різних варіантів деформації земної поверхні на основі обробки фактичних вимірів та отримано номограми класифікації осідання поверхні залежно від умов підземної розробки.

Classification for unsafety categories defining of different variants of earth-deformative processes according to factual measurements was adduced. Nomograms of earth failure classification depending on conditions of underground mining were developed.

Постановка проблеми

В Україні, яка займає 0,5 % суходолу, видобувають 5 % твердих корисних копалин. Велика кількість вугілля, залізних і мідних руд, будівельних матеріалів видобувається в Росії, Республіці Польща та інших країнах [1]. Розробка родовищ підземним способом негативно впливає на земну поверхню, викликаючи її осідання, змінюючи ландшафт та спричиняючи інші зміни в геологічному середовищі. Вона супроводжується утворенням пусток в гірничому масиві, порушенням рівномірного напруженого стану і створенням вогнищ концентрації напруг, руйнуванням і зсувами гірських порід навколо пусток.

Зсуви порід досягають денної поверхні та викликають осідання ґрунту під поверхневими будівлями і природними об'єктами (водоймища, береги річок), викликаючи деформації, що призводять до руйнування цих об'єктів. Особливо небезпечні ці процеси в поєднанні з сейсмічною дією вибухових робіт, землетрусів або гірничих ударів, які небезпечні як для підземних виробок, так і для поверхневих будівель і споруд, причому зі зростанням глибини розробки вугільних і рудних покладів кількість і енергетична потужність гірничих ударів збільшуються.

Вплив гірничих ударів на об'єкти, розташовані над територіями, що підробляються, або в околиці шахтного поля, проявляється у вигляді сейсмічних пружних коливань, що взаємодіють із ґрунтами основ фундаментів і гірських схилів. Особливо небезпечними ці прояви бувають в районі мульди опускання, коли поверхня піддається різним деформаціям з утратою рівноважного стану або досягненням граничних станів. У цьому випадку додаткові динамічні навантаження, самі по собі навіть далекі від граничних рівнів, можуть викликати лавинні ґрунтові потоки в основах поверхневих об'єктів.

Додатковим негативним чинником, що має бути врахований, є ймовірність посилення віброесейсмічного сигналу за рахунок резонансу

низькочастотних коливань із власною частотою ґрунтових агрегатів, здатного привести ґрунт у граничний стан. Певну небезпеку становлять вібровипромінювання різного походження.

Зокрема, зростання параметрів транспортних систем призводить до збільшення вібраційних навантажень на ґрунтовий масив основ і фундаментів довколишніх будівель і споруд, що спричиняє втрату несучої здатності ґрунту в результаті його динамічної утомленості, а це знижує довготривалу міцність порівняно із статичною міцністю у двічі.

У районі мульди опускання шкідлива дія таких коливань значно зростає.

Прогнозування явищ, які супроводжують виникнення гірничого удару і його наслідки, являє собою складне науково-технічне завдання і вимагає вироблення нових концептуальних і методичних підходів, які б ураховували основні чинники і базувалися на досягненнях фундаментальних і прикладних наук, передусім екологічного, механіко-математичного та гірничого профілю.

Зокрема, під час вивчення характеру дії гірничого удару на поверхню Землі слід використовувати розроблену геофізиками теорію рухів сейсмічних хвиль різного походження як у безмежному середовищі, так і на межі середовищ з різко відмінними властивостями, та взаємодії хвиль різних типів із фундаментами поверхневих споруд.

Спосіб використання закономірностей у процесі вивчення гірничих ударів

Оцінювання їх параметрів за тротиловим енергетичним еквівалентом дозволить отримати початкові дані вогнища сейсмічних збуджень та обрахувати характеристики сейсмічних хвиль в масиві і на поверхні.

Знаючи параметри інтенсивності хвиль, можна встановити межі безпечної зони на поверхні і за потреби планувати комплекс сейсмозахисних заходів для об'єктів у межах сейсмонебезпечної зони.

Сейсмічний ефект від гірничих ударів впливає на зсувонебезпечні схили, прискорюючи дезінтеграційні процеси, сприяючи формуванню і руху обвальних тіл через порушення рівноважного стану.

Указані явища викликають необхідність розробляти спеціальні інженерно-технічні заходи захисту поверхневих природних об'єктів, будівель і споруд для зниження інтенсивності сейсмічних коливань сейсмопоглинаючими екранами або облаштування протизсувних локалізуючих комплексів.

Щоб розробити класифікацію методів прогнозування деформації поверхні Землі слід визначити ряд початкових параметрів. Під час моделювання процесу деформації масиву над виробленим простором ураховуємо такі допущення:

- середовище – однорідні гірські породи з малою міцністю на розрив;
- маса породи на 1 погонний метр постійна по всій глибині і не залежить від гірського тиску;
- коефіцієнт Пуассона на досліджуваних глибинах – величина постійна для цього типу порід;
- форма зони обвалення над виробленим простором приймається еліптичною (рис. 1).

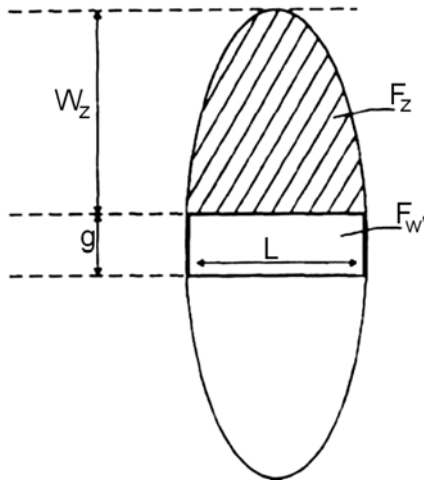


Рис. 1. Зона обвалення над виробленим простором

Зона обвалення може бути виражена таким співвідношенням:

$$F_z k = F_z + F_w, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт розпушування;

F_w – перетин виробленого простору.

Зі співвідношення (1) випливає, що

$$F_z = \frac{F_w}{k-1}.$$

Площа еліпса обвалення з геометричних співвідношень дорівнює

$$F_e = \pi \frac{L}{2} \left(W_z + \frac{g}{2} \right), \quad (2)$$

а з урахуванням розпушування породи:

$$\begin{aligned} F_e &= 2F_z + F_w = \frac{2F_w}{k-1} + F_w = \frac{2F_w + (k-1)F_w}{k-1} = \\ &= \frac{F_w(2+k-1)}{k-1}; \\ F_e &= \frac{gL(k+1)}{k-1}, \end{aligned} \quad (3)$$

де L – ширина виробки;

W_z – висота зони обвалення над виробкою;

g – потужність пласта.

Прирівнюючи праві частини рівнянь (2), (3), отримаємо

$$\pi \frac{L}{2} \left(W_z + \frac{g}{2} \right) = \frac{gL(k+1)}{k-1},$$

звідки

$$W_z = g \frac{4(k+1) - \pi(k-1)}{2\pi(k-1)}. \quad (4)$$

Із часом відбувається ущільнення розпушеної гірської маси під впливом власної ваги або підземних вод і показник k може зменшитися до значень порядку 1,1, тоді зона обвалення може бути приблизно в 14,4 разу більша, ніж потужність виробки g . Зі збільшенням ширини виробленого простору збільшується напруга над виробленням, що призведе до утворення нового еліпса обвалення, який може досягти поверхні (рис. 2).

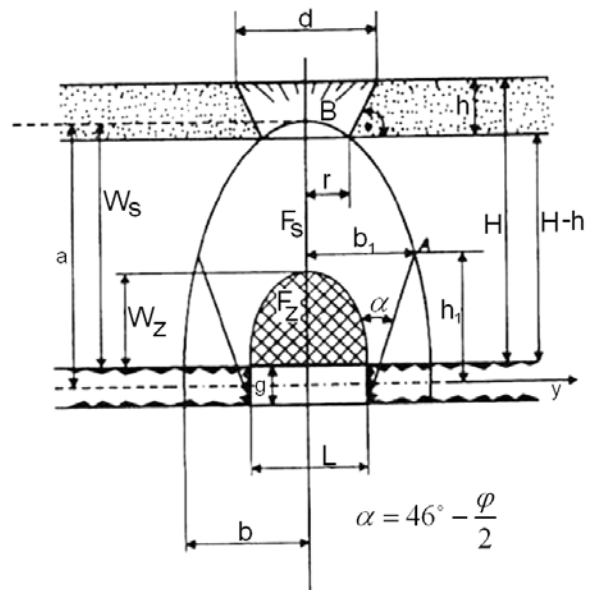


Рис. 2. Форма зони обвалення у разі збільшення ширини виробленого простору

Процес супроводиться пластичними та зсувними деформаціями під кутом

$$\alpha = 45 - \frac{\gamma}{2},$$

а параметри зони деформацій обраховуються у координатах $x-y$, де $x = z - H$.

Координата x збігається з віссю z (рис. 2):

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1. \tag{5}$$

Дотична в точці A до кривої, що є межею зони обвалення, має координати

$$x_A = h_1, \quad y_A = b_1,$$

і рівняння (5) запишемо у вигляді

$$\frac{xh_1}{a^2} + \frac{yb_1}{b^2} = 1. \tag{6}$$

З геометричних співвідношень дотичну, яка має нахил до осі x під кутом α , можна описати рівнянням

$$y = b_1 \operatorname{tg} \alpha (x - h_1).$$

Оскільки точка A належить також до кривої, що описує межі зони обвалення, то рівняння (6) може бути записане як

$$\frac{h_1^2}{a^2} + \frac{b_1^2}{b^2} = 1,$$

звідси

$$y = \operatorname{tg} \alpha x - \operatorname{tg} \alpha h_1 + b_1;$$

$$x = \frac{g}{2};$$

$$y = \frac{L}{2}.$$

З рис. 2 з урахуванням наведених співвідношень отримаємо кінцеву залежність для визначення потрібних параметрів:

$$h_1 = \pm \frac{M^2 \operatorname{tg} \alpha}{M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1};$$

$$b_1 = \frac{L + \operatorname{tg} \alpha}{2(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)};$$

$$b = \frac{M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1}{2(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)} (L + \operatorname{tg} \alpha);$$

$$y = \pm \sqrt{\frac{(L + \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} - \frac{(z - H)^2}{M^2}};$$

$$W_s = \pm M \sqrt{\frac{(L + \operatorname{tg} \alpha)^2 (M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1)}{4(1 - M^2 \operatorname{tg}^2 \alpha)^2}} - \frac{g}{2}; \tag{7}$$

$$x = Z - H;$$

$$W_s = x_{(0)} - \frac{g}{2},$$

де M – відношення великої (a) до малої (b) осі еліпса;

W_s – висота зони деформації.

За допомогою співвідношень (7) можна визначати висоту зони обвалення для конкретного вироблення (рис. 3).

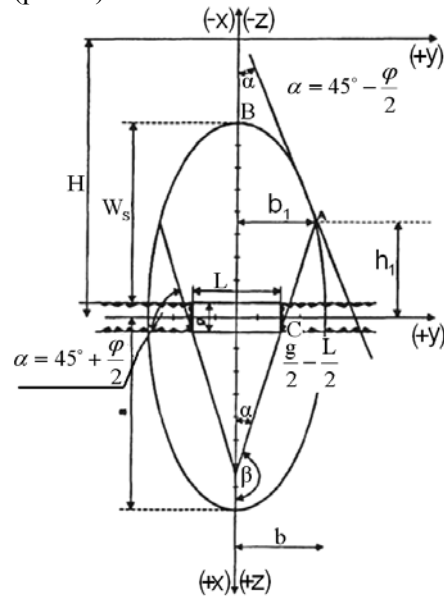


Рис. 3. Схема для визначення зони обвалення над виробленим простором

Якщо відомі глибина H , висота h то можна, взявши $W_3 < H - h$, знайти або значення довжини виробленого простору L , або граничної висоти вироблення, що виключає появу на поверхні зон осідання.

Параметр m у табл. 1 є величиною, зворотною коефіцієнту Пуассона: тобто

$$m = \frac{1}{\nu}.$$

Із табл. 1 видно вплив на показники властивостей гірських порід, насамперед міцнісних характеристик: наприклад, кут α змінюється від 16 до 5° для міцних пісковиків, коефіцієнт Пуассона змінюється відповідно від 0,33 до 0,1. Якщо мульда опускання має конічну форму, її діаметр може бути підрахований за формулою (рис. 1):

$$d = 2h \operatorname{ctg} \varphi + 2r, \tag{8}$$

де h – потужність наносів;

φ – кут внутрішнього тертя порід в околиці мульди;

r – радіус (ширина) виробленого простору в пласті.

Таблиця 1

Приклади розрахунку параметрів обвалення для визначення висоти обвалюваної зони в різних гірських породах

Порода	$tg\varphi$	$\langle \varphi$, град	$\langle \alpha$, град	$tg\alpha$	$tg^2\alpha$	m	$\frac{a}{b} = M$
Вугілля	1,5	57	16	0,2867	0,082	3	2
Сланець м'який	2,0	64	13	0,2309	0,053	5	4
Сланець	3,0	72	9	0,1584	0,025	6	5
Пісковик м'який вапняковий	4,0	76	7	0,1228	0,015	7	6
Сланець піскуватий	5,0	79	6	0,1051	0,011	8	7
Пісковик	6,0	80	5	0,0875	0,0076	10	9

Отримання номограми класифікації осідання поверхні залежно від умов підземної розробки

Із рис. 2 видно, що мульда деформації порід над виробленим простором може досягати поверхні. Формування зон деформації над виробленим простором у цьому випадку видно з рис. 4 та 5, де умовна площа f висотою h_3 над параболічною зоною обвалення безпосередньо в покрівлі вироблення обмежена кривою $y(x)$. Висота h_3 визначає фактичне положення стелі над вершиною зони обвалення.

Поверхня $F_s - f$ є областю поширення зони деформації до поверхні і одночасно мірою вірогідності утворення мульди осідання.

Висота $h_2 = W_s - W_z$ є областю деформацій, у межах якої змінюється значення $0 < h_3 < h_2$, тоді $0 < f(h_3) < F_s$.

Функція вірогідності умовної деформації масиву P може бути записана так:

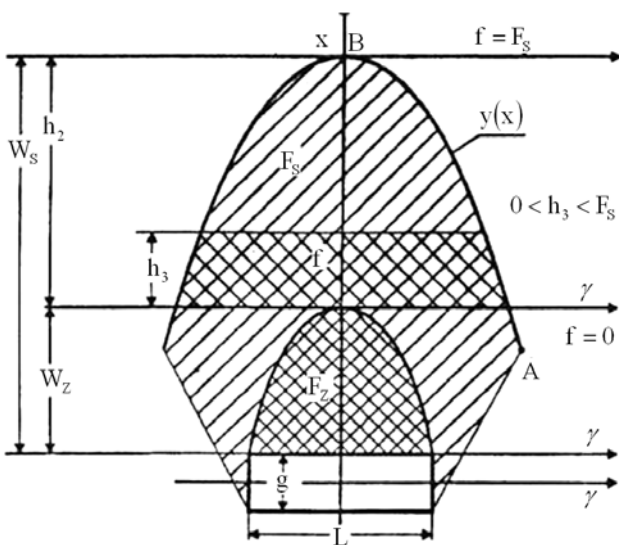


Рис. 4. Схема для визначення вірогідності утворення мульди опускання або провалу

$$P(h_3) = \frac{F_s - f(h_3)}{F_s},$$

де F_s – площа зони деформації.

Функція може набувати граничних значень:

$$f_{(0)} = 0; P_0 = 1,$$

оскільки $W_z \geq H - h$,

$$0 < f(h_3) < F_s; 0 < P(h_3) < 1;$$

оскільки $W_z < H - h$, але

$$W_s \geq H - h; f = F_s;$$

$$P(h_2) = 0,$$

якщо $W_s < H - h$.

(9)

Величину поверхні зон деформації F_s і $f(h_3)$ визначаємо розрахунком, а функція вірогідності може бути записана так:

$$P(h_3) = \frac{\int_0^{h_2} y(x) dx - \int_0^{h_3} y(x) dx}{\int_0^{h_2} y(x) dx}.$$

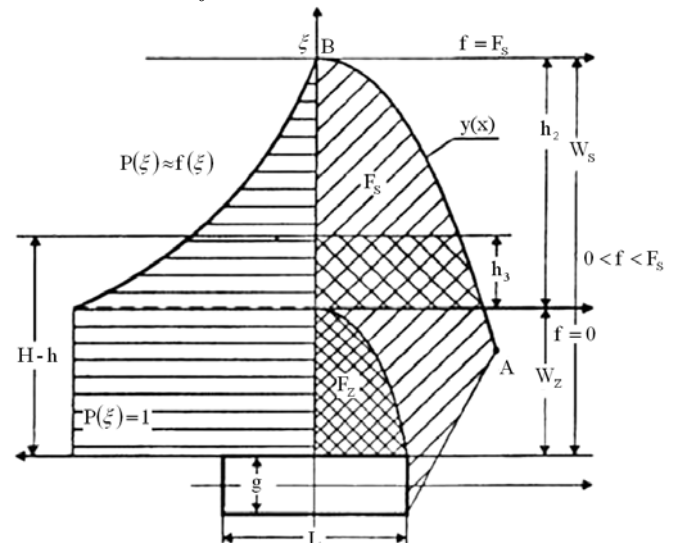


Рис. 5. Розрахункова схема для визначення деформації масиву над виробкою

Сума площ у межах $0 - h_2$ – величина постійна, а деформація поверхні залежить від відстані h_3 , тобто $f(h_3)$. Тоді функцію P можна записати як

$$P = f(\xi) = a + b\xi + c\xi^2 + \dots n\xi^m. \quad (10)$$

Проте використання наведеної методики через нестачу початкової інформації часто нездійсненне. У зв'язку з цим у практиці зазвичай, вдаються до спрощених методик прогнозування осідання поверхні. Як один з оціночних параметрів застосовують показник

$$Z = \frac{H - h}{g}. \quad (11)$$

Для практичних розрахунків складно пов'язати рівняння $P(h_3)$ вірогідності з параметрами осідання. На основі модельних експериментів установлено, що в ряді випадків рівняння (10) навіть при заляганні пласта на невеликих глибинах дає значну розбіжність, наприклад, висота зони деформацій над виробкою постає еквівалентною багатократному значенню висоти виробки або потужності пласта. Тому доцільно рівняння вірогідності виразити через показник z у формулі (11), взявши $\xi = z$.

Тоді в зонах руйнування і деформації $P = f(\xi) = f(Z)$.

Можна узагальнити і спростити оцінювання геометричних зон згідно з рис. 5. Зважатимемо, що максимальна висота зони обвалення над виробленим простором W_z дорівнює десятиразовій потужності g :

$$W_{z \max} = 10g.$$

За аналогічними міркуваннями вважатимемо, що сумарна висота зони обвалення і розпушування W_s змінюється в діапазоні декількох десятків потужностей виробленого простору:

$$W_s = (10 - 50)g.$$

Можна виділити декілька характерних випадків, коли величина w_s набуває значення, відповідні конкретним гірничотехнічним умовам. Візьмемо як гарантійне для запобігання осідання поверхні максимальне значення W_s із формули (4):

$$W_{s \max} = 50g.$$

У разі такого допущення рівняння вірогідності може бути записане у вигляді

$$P_1 = 1,34 - 0,036Z + 0,00019Z^2. \quad (12)$$

Коефіцієнт кореляції досягає 0,99.

На рис. 6 графічно зображено рівняння (12) за коефіцієнтом 1,95, а також криві для двох інших значень P_2 і P_3 , якщо

$$W_{z \max} = 8g \text{ і } W_{z \max} = 12g.$$

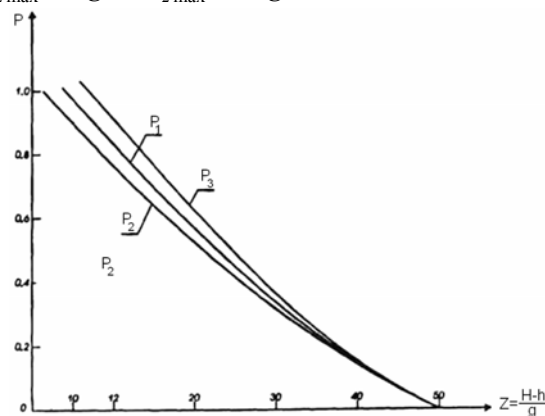


Рис. 6. Криві $P(Z)$ вірогідності при визначенні параметрів мульди опускання

Ці криві ілюструють величину помилки (відхилення) або оцінки вірогідності від прийнятої для прогнозування величини $w_{z \max} = 10g$. Ця помилка не дуже істотна при прийнятих допущеннях, що видно з табл. 2.

З аналізу наведених співвідношень видно, що величині $\xi = 0$ відповідає значення $Z = 10$, а величині $\xi = h_2$ – значення $Z = 50$.

Таблиця 2

Вірогідність утворення мульди опускання як функції Z

Z	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P	1,0 (0,999)	0,96	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81	0,78	0,75	0,72	0,69
Z	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	–
P	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,50	0,47	0,44	0,42	–
Z	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	–
P	0,39	0,37	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	–
Z	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	–
P	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,007	0,007	0,003	0,003	0	–

Отже, беручи висоту зони обвалення 10g і висоту зони деформації 50g, можна з великою вірогідністю прогнозувати збереження поверхні Землі.

Ця методика прогнозування деформації земної поверхні з уведенням в рівняння $P = f(\xi)$ вірогідності параметра Z може бути підставою для класифікації ступеню небезпеки осідання або утворення провалів на поверхні.

На основі критерію Z у роботі [2] запропоновано поверхню Землі за показником вірогідності деформації розділяти на такі категорії (рис. 7).

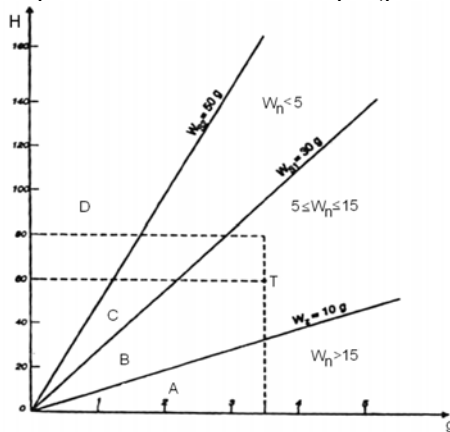


Рис. 7. Розподіл поверхні, що деформується, за категоріями A, B, C, D залежно від величини Z

Категорія А. Параметр Z змінюється від 0 до 10. Це означає, що зона обвалення практично стабілізувалася, зона f не сформована. Для такої поверхні функція $P = 1$ і вірогідність виникнення деформацій осідання велика (табл. 2).

Категорія В. Параметр Z змінюється від 10 до 30. Це означає, що зона обвалення не досягає до верху умовної області, але зона деформацій досягає межі наносів. Вірогідність утворення провалів висока в межах $10 < Z < 20$ і середня в межах $20 < Z < 30$ відповідно.

Категорія С. Параметр Z змінюється від 30 до 50. Дуже велика область деформації (вапняки, пісковики) досягає межі наносів.

Вірогідність утворення опускань і провальних воронок невелика. Тільки 2 % зареєстрованих випадків деформації поверхні існували, якщо величина параметра Z була більшою за 30. Для цієї категорії $0,42 > P \geq 0$ (табл. 2).

Категорія D. Параметр Z більше 50 означає, що вершина зони деформації не доходить до нижньої межі наносів і вірогідність утворення воронкоподібних провалів виключається.

Розподіл на категорії A, B, C, D графічно зображено на рис. 7. Розділенням лінійними графіками на чотири зони, виконаним у координатах $g-H$, з урахуванням формул (7), (9) можна отримати відповідну категорію за небезпекою деформації поверхні.

Проілюструємо це прикладом. Нехай потужність виробленого простору $g = 3,5$ м на глибині $H = 80$ м, якщо потужність наносів $h = 20$ м. При цьому

$$Z = \frac{60}{3,5} = 17,2.$$

Точка T на рис. 7 розташована в області категорії B, і вірогідність деформації поверхні $P = 0,78$ (згідно з табл. 2).

Аналізуючи дані табл. 1, 2 і рис. 5-7, можна зробити висновок про адекватність розподілу на категорії за параметром Z (рис. 7) та за параметром ущільнення W_n деформованих порід. У межах моделі розподілу за чотирма категоріями A, B, C, D і за чинником W_n це виглядатиме так:

- для категорії A за величини параметра $Z < 10$ значення W_n береться максимальним і дорівнюватиме $W_n > 15$;
- для категорії B за $Z = 10 - 30$ параметр ущільнення береться в межах $5 \leq W_n \leq 15$;
- для категорії C за $Z = 30 - 50$ параметр становить $W_n < 5$;
- для категорії D за $Z > 50$ параметр W_n знижується до нуля.

Порівняння даних класифікації за обома параметрами наведено в табл. 3 [3].

Таблиця 3

Класифікація вірогідності провальних явищ

Критерій оцінювання	Категорія			
	A	B	C	D
Вірогідність настання деформації порушення суцільності	$0 < Z \leq 10$	$10 < Z \leq 30$	$30 < Z \leq 50$	$Z > 50$
Показник ущільнення	$P = 1$	$1 > P > 0,42$	$0,42 > P > 1$	$P = 0$
	$W_n < 5$	$15 \geq W_n \geq 5$	$W_n < 5$	$W_n < 0$
	Група			
	4	3	2	1
Максимальний діаметр деформації порушення в межах воронки	$d > 20$	$d \leq 20$	$d \leq 10$	$d \leq 5$

Отже, за величину деформації поверхні береться максимальний діаметр деформованої зони d у вигляді конусоподібної або коритоподібної форми (рис. 2, табл. 3). Вона залежить зрештою від глибини розробки родовища $d = f(H)$, потужності наносів $d = f(h)$ і потужності пласта, що розробляється, $d = f(g)$. За допомогою номограми рис. 8 можна прогнозувати деформації за двома параметрами згідно з табл. 3 і рис. 5-7.

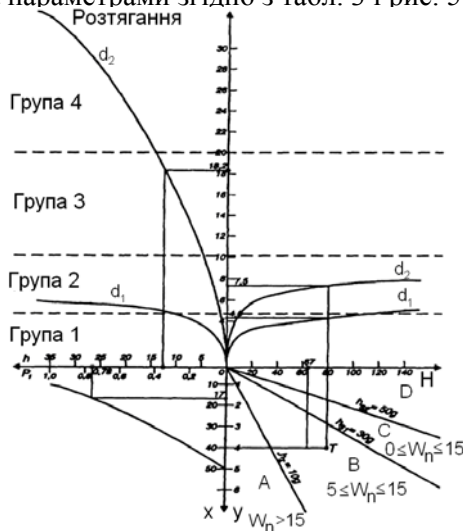


Рис. 8. Номограма для визначення категорії поверхні за ступенем впливу підземних робіт

Для прогнозування категорії беруть середньоарифметичну величину d_1 за отриманими значеннями вірогідності, виходячи з параметрів Z і W_n .

Оцінювання деформації поверхні в конкретних умовах

Наведена класифікація і розроблена на її основі номограма під час використання має висвітлити такі положення, пов'язані з прогнозуванням деформацій поверхні:

- з'ясувати вплив виробленого простору на ґрунти наносів і поверхню Землі;
- установити вірогідність появи деформацій;
- з'ясувати час, протягом якого відбувається процес деформації після завершення експлуатації;
- визначити показник W_n деформації ущільнення на 1 км^2 ;
- підрахувати максимальний діаметр зони деформацій наносів в об'ємі воронки.

У разі кінчної форми зони деформацій наносів діаметр визначають за формулою (8)

Якщо, користуючись номограмою, поверхню позначити символом 1112А, то 111 означає величину деформацій $\xi \leq 6 \text{ мм/м}$; 2 – максимальну величину горизонтальних деформацій порушення суцільності на поверхні за $d \leq 10 \text{ м}$; А – область, в якій незворотні деформації ущільнення мають великі значення.

Приклад 1. Вихідні дані (район Boleslaw Smialy): $H = 17 \text{ м}$; $h = 4 \text{ м}$; $g = 1,6 \text{ м}$; $P = 1$; $W_n > 15$;

$$Z = \frac{17 - 4}{1,6} = 8,1.$$

Діаметр d за чинником H :

$$d_1 = 3,2 \text{ м}; d_2 = 5,5 \text{ м};$$

за чинником h :

$$d_1 = 3,7 \text{ м}; d_2 = 13 \text{ м};$$

за чинником g :

$$d_1 = 3,6 \text{ м}; d_2 = 6,5 \text{ м}.$$

Межі діаметра d слід вважати від 6,5 до 13 м. Поверхню відносимо до категорії 3А. Фактично замірний діаметр на цій ділянці поверхні досягав 12 м.

Приклад 2. Вихідні дані (район Milowice):

$$H = 40 \text{ м}; h = 20 \text{ м}; q = 2 \text{ м}; P = 1; W_n > 15;$$

$$Z = \frac{40 - 20}{2} = 10.$$

Діаметр d за чинником H :

$$d_1 = 4,3 \text{ м}; d_2 = 6,5 \text{ м};$$

за чинником h :

$$d_1 = 5,2 \text{ м}; d_2 = 24 \text{ м};$$

за чинником g :

$$d_1 = 3,5 \text{ м}; d_2 = 8 \text{ м}.$$

Отже, якщо взяти в середньому $d = 8 \text{ м}$, слід мати на увазі можливість збільшення його до 24 м. Поверхню слід віднести до категорії 4А. У цьому районі спостерігався показник деформації $W_n = 57,7$, максимальний діаметр $d_{\text{max}} = 14 \text{ м}$, а на одній з ділянок $d_{\text{max}} = 35 \text{ м}$.

Приклад 3. Вихідні дані (район Milowice 3):

$$H = 70 \text{ м}; h = 30 \text{ м}; q = 4,3 \text{ м}; P = 1; W_n > 15;$$

$$Z = \frac{70 - 30}{4,3} = 9,3.$$

Діаметр d за чинником H :

$$d_1 = 4,8 \text{ м}; d_2 = 7,4 \text{ м};$$

за чинником h :

$$d_1 = 6,0 \text{ м}; d_2 = 29 \text{ м};$$

за чинником g :

$$d_1 = 4 \text{ м}; d_2 = 10 \text{ м}.$$

Поверхню, якщо $d = 10 \text{ м}$ (можливість збільшення до 29 м), слід віднести до категорії 4А. Фактично в цьому районі $W_n = 25$, а $d = 8 \text{ м}$ (в одному випадку до 10 м).

У табл. 4 наведено класифікацію ступеня небезпеки різних варіантів деформації поверхні, отриману на основі обробки фактичних вимірів різних форм.

Таблиця 4

Класифікація ступеня небезпеки для поверхневих споруд за величиною видимих деформацій поверхні

Група	Величина заміряних необоротних деформацій			Ступінь небезпеки для поверхневих об'єктів
	Плоскі деформації		Лінійні деформації (щілини)	
	Діаметр зони деформації d , м	Ширина щілини S , м	Висота порогу скидання h_c , м	
1	$d \leq 3,0$	$s \leq 0,05$	$h_c \leq 0,05$	Не становить небезпеки для будівель, недостатньо захищених відносно невеликих незворотних деформацій або де об'єкти стійкі проти зворотних деформацій, але являє небезпеку для лінійних споруд (дороги, комунікації)
2	$3,0 \leq d \leq 9,0$	$0,05 < s \leq 0,15$	$0,05 < h_c \leq 0,1$	Небезпечні для всіх об'єктів, недостатньо захищених від невеликих незворотних деформацій, а також і захищених, але при великих деформаціях ущільнення
3	$9,0 \leq d \leq 18,0$	$0,15 < s \leq 0,25$	$0,1 < h_c \leq 0,25$	Не являє небезпеки тільки для об'єктів відповідно захищених
4	$d > 18$	$s > 0,25$	$h_c > 0,25$	Небезпечні для будь-яких об'єктів

Висновки

- Для прогнозування деформаційних процесів рекомендується використовувати класифікацію ступеня небезпеки різних варіантів деформації поверхні, отриману на основі обробки фактичних вимірів.
- Розроблена номограма дозволяє визначити категорію поверхні залежно від ступеня впливу підземних робіт.

Література

- Вовк А.А., Воеводка А., Кузеля Е. Некоторые проблемы экологии в горнодобывающей промышленности. – К.: НТУУ “КПІ”. – 1996. – 157 с.
- Вовк О.А. Изменение физико-механических свойств породного массива под влиянием упругих возмущений // Вісн. НТУУ “КПІ” Сер. Гірництво. – 2001. – Вип. 5. – С. 24–29.
- Chudek M. Geomechaka z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. – Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej, 2002. – 637 s.

Стаття надійшла до редакції 19.12.07.