



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42587 (13) A

(51) 7 E02D1/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТУ ПЕНЕТРАЦІЄЮ

(21) 2001042403

(22) 10 04 2001

(24) 15 10 2001

(33) UA

(46) 15 10 2001, Бюл. № 9, 2001 р.

(72) Пшінко Олександр Миколайович, Петренко Володимир Дмитрович, Заяць Юрій Львович, Косак Вікторія Миколаївна, Тютюкін Олексій Леонідович, Цепак Станіслав Владиславович

(73) Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, UA

(57) Спосіб визначення параметрів ґрунту пенетрацією, який включає випробування ґрунту шляхом зондування із визначенням опору проникнення

конуса зонда в ґрунт у кількох точках площі, яка досліджується, креслення пенетрограм і визначення характеристик ґрунту, математичну обробку із визначенням координат колової зони, в межах якої знаходиться центр можливого провалу, який відрізняється тим, що за межами колової зони проводять допоміжне зондування, і за початком максимальних і мінімальних значень величини опору проникання конуса зонда усіх точок пенетрограм визначають перерізи шарів ґрунту та кути їх нахилу, а за відсутністю значення величини опору роблять висновок про наявність розриву шарів

Винахід має відношення до інженерних пошуків на підроблених територіях при освоєнні і забудові районів розвитку небезпечних геологічних процесів

Існуюча на даний момент проблема полягає у відсутності методів швидкого реагування на зміни земної поверхні на підроблених територіях. Проводяться спостереження за швидкістю осідання ґрунтів, зупиняють будівництво і експлуатацію будинків та споруд, скорочують швидкість рухомого складу на залізниці. Відновлювальні роботи, як правило, починають після стабілізації земної поверхні.

Відомий спосіб визначення параметрів ґрунту пенетрацією, який включає випробування ґрунту шляхом зондування із визначенням опору проникання конуса зонда у ґрунт (Механіка ґрунтів, основи і фундаменти / Гольдштейн М. Н. і др. - М: Транспорт, 1981 - С. 123-129).

Недоліком цього способу є лише вертикальна оцінка характеристик ґрунтів та неможливість оцінити стан ґрунтів на встановленій площі без попередніх досліджень.

Найбільш близьким аналогом до запропонованого є спосіб визначення зони можливого провалу утворення у ґрунтах, який включає випробування ґрунту у декількох точках площі, яка досліджується, визначення його характеристик, їх математичну обробку і визначення розташування місця і розмірів провальної зони. При цьому випробування ґрунту проводять шляхом зондування із визначенням опору проникання конуса зонда в

ґрунт і визначення координат центра кругової зони, середина якої буде центром можливого провалу

$$X_0 = \frac{U(EI - FH) + V(CH - BI) + W(BF - CE)}{2[U(EG - DH) + V(AH - BG) + W(BD - AE)]},$$

$$Y_0 = \frac{U(FG - DI) + V(AI - CG) + W(CD - AF)}{2[U(EG - DH) + V(AH - BG) + W(BD - AE)]},$$

$$R = 2 \sqrt{\left( \frac{1-r^2}{n} \right) \cdot \sum \left( \frac{\sum L_i}{n} - L_i \right)^2},$$

де  $X_0$ ,  $Y_0$  - координати центра зони,  $R$  - радіус зони можливого провалу, при цьому утворення провалу неможливе  $r \leq 0,6$  (А с СССР № 1752869, кл. E02D1/02, бюл. № 29, 1992).

Недоліком цього способу є те, що при визначенні зони можливого провалу утворення у коловій зоні не ураховують можливості впливу на процес відновлення стану ґрунтів, розташованих навколо кругової зони ґрунтів з більшою щільністю.

Технічна задача, яка вирішується у запропонованому способі, розширення області використання, більш повного вивчення ґрунтів як у зоні провалу утворення, так і за її межами, вивчення пошарового розташування ґрунтів, виявлення їх розривів і нахилу у порівнянні з менш зруйнованими.

Суть запропонованого способу визначення параметрів ґрунту пенетрацією полягає у випробу-

ванні ґрунту шляхом зондування із визначенням опору проникнення конусу зонда в декількох точках досліджуваної площі, креслення пенетрограм і визначення характеристик ґрунту з математичною обробкою та розрахунком координат колової зони, середина якої буде визначати центр можливого провалу. За межами колової зони проводять допоміжне зондування і, за початком мінімальних і максимальних значень величини опору проникнення конусу зонда усіх точок пенетрограм, визначають перерізи шарів ґрунту та кути їх нахилу, а за відсутністю значення величини опору - роблять висновок про наявність розриву шарів.

На кресленнях наведені фіг. 1 - план досліджуваної площі, на якому у масштабі показане розташування точок динамічного зондування, фіг. 2 - пенетрограми усіх точок зондування.

Спосіб виконується у такій послідовності. На дослідній площі у декількох точках проводять випробування ґрунту шляхом динамічного зондування, а на плані (фіг. 1) довільно наносять систему координат і всім попереднім восьми точкам зондування присвоюють порядкові номери 2, при цьому всі точки здобувають абсцису  $X$  і ординату  $Y$  у масштабі. За результатами випробування креслять пенетрограми (фіг. 2), на яких ламаною лінією (а) показують характеристику умовного динамічного опору ґрунту, а переривчастою (б) - середню її величину. Усі параметри заносять у таблицю 1, а за отриманими даними потім обчислюють координати  $X_0$ ,  $Y_0$  центра кругової зони 3 (фіг. 1).

$$X_0 = \frac{U(EI - FH) + V(CH - BI) + W(BF - CE)}{2[U(EG - DH) + V(AH - BG) + W(BD - AE)]},$$

$$Y_0 = \frac{U(FG - DI) + V(AI - CG) + W(CD - AF)}{2[U(EG - DH) + V(AH - BG) + W(BD - AE)]},$$

$$R = 2 \sqrt{\left( \frac{1-r^2}{n} \right) \cdot \sum \left( \frac{\sum L_i}{n} - L_i \right)^2},$$

A, B, C, D, E, F, G, H, I, U, V, W - величини, які визначаються з виразів

$$A = \frac{(\sum x_i)^2 - n \sum x_i^2}{n \sum x_i^2}, \quad B = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{n \sum x_i},$$

$$C = \frac{\sum x_i \sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum x_i (x_i^2 + y_i^2)}{n \sum x_i},$$

$$D = \frac{\sum x_i \sum y_i - n \sum x_i y_i}{n \sum y_i}, \quad E = \frac{(\sum y_i)^2 - n \sum y_i^2}{n \sum y_i},$$

$$F = \frac{\sum y_i \sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum y_i (x_i^2 + y_i^2)}{n \sum y_i},$$

$$G = \frac{\sum x_i \sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum (x_i^2 + y_i^2)}{n \sum (x_i^2 + y_i^2)},$$

$$H = \frac{\sum y_i \sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum y_i (x_i^2 + y_i^2)}{n \sum (x_i^2 + y_i^2)},$$

$$I = \frac{[\sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum x_i (x_i^2 + y_i^2)]}{n \sum (x_i^2 + y_i^2)},$$

$$U = \frac{\sum p_i \sum x_i - n \sum p_i x_i}{n \sum x_i}, \quad V = \frac{\sum p_i \sum y_i - n \sum p_i y_i}{n \sum y_i},$$

$$W = \frac{\sum p_i \sum (x_i^2 + y_i^2) - n \sum p_i (x_i^2 + y_i^2)}{n \sum (x_i^2 + y_i^2)},$$

де  $n$  - кількість точок зондування,

$i$  - порядковий номер точки зондування (від 1 до  $n$ ),

$$\sum - \text{сума елементів} \left( \sum_{i=1}^n \right),$$

$x_i, y_i$  - координати  $i$ -ї точки зондування,

$p_i$  - середнє значення опору ґрунту проникненню конусу зонду в  $i$ -ї точці зондування,

$L_i$  - відстань від центра зони можливого провалу до тієї ж точки зондування в горизонтальній площині,

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2},$$

$r$  - коефіцієнт регресії,

$$r = \frac{n \sum p_i L_i - \sum p_i L_i}{\sqrt{n \sum p_i^2 - (\sum p_i)^2} \cdot \sqrt{n \sum L_i^2 - (\sum L_i)^2}},$$

при цьому провалоутворення вважають неможливим при  $r \leq 0,6$ .

Після визначення параметрів зони можливого провалоутворення її контур 3 наносять на фіг. 1 і проводять загальний аналіз процесу зондування.

Із розгляду фіг. 1 видно, що зона провалоутворення розташована піворуч від основної групи точок зондування. Близькі до неї - 1, 2 і 4 практично не дозволяють оцінити стан прошарків ґрунту. Тому проводять допоміжну серію зондування (фіг. 1, 2), наприклад, із восьми точок, три з яких - 9-11 доповнюють інформацію на межі вирахованої зони провалоутворення, а інші п'ять точок - 12-16, рівномірно розташовують на рівні середнього радіусу точок 5, 6 та 7 так, щоб була можливість передбачити стан ґрунтів. Пенетрограмами точок 12-16 доповнюють фіг. 2, а координати точок 9-16 заносять до табл. 2.

Після розгляду пенетрограм виділяють два шари ґрунтів: перший знаходиться на глибині 9-11 м, характеризується відскоком при зондуванні, другий - на глибині 5-6 м, характеризується нерівномірністю товщини шару  $h$ , тобто його розривами. Для глибини шару 5 м, за різницею максимальних і мінімальних значень величини опору проникнення конусу зонда, визначають товщину шару  $h$  і координати точок із табл. 2, а по ним вираховують кути нахилу шарів і їх розриви у круговій зоні. Для глибини 10 м кути нахилу знаходять за відскоком пенетрометра. Дані розрахунків заносять у табл. 2.

Приклад. На фіг. 1 показане розташування точок динамічного зондування 1, проведеного на глибині від 1,5 до 11 м (інтервал зондування). Перші вісім точок 2 обрані випадково, і за результатами їх зондування знайдено зону провалоутворення, координати точок  $X$  та  $Y$ , заносимо до табл. 1, проводимо необхідні розрахунки і визначаємо величини.

$A=35,54$  м,  $B=26,9$  м,  $C=-63,5$  м<sup>2</sup>,  $D=-19,77$  м,  $E=-29,63$  м,  $F=-746,23$  м<sup>2</sup>,  $G=0,66$  м,  $H=-10,52$  м,  $I=-791,77$  м<sup>2</sup>,  $U=-0,93$  МПа,  $V=0,6$  МПа,  $W=0,02$  МПа. Згідно з прогнозом, центр зони провалоутворення (фиг. 1, 2) знаходиться у точці із координатами  $X_0=36$  м,  $Y_0=40$  м, а її радіус становить 30 м. Оскільки величина  $\Gamma=0,64$ , існує можливість провалу з центром у межах визначеної на фиг. 1, 2 зони.

Координати додаткових точок 9–16 визначають з фиг. 1, заносять до табл. 2, проводять динамічне зондування, креслять пенетрограми (фиг. 2).

Для порівняння прийняті точки 10 та 14, за пенетрограмами яких визначено, що на нижньому рівні (9–11 м), характерні за відскоком пенетрометра, різниця висоти щільних шарів становить 2 м. Відповідно до відстані між точками 10 та 14 та виділеній висоті обчислено кут нахилу шару ґрунту –  $5^{\circ}50'$ . На рівні висоти 5–6 м у точці зондування 14 зафіксовано щільний шар ґрунту, висотою  $h=1,0$  м, який у точці зондування 10 заглиблюється ще на 1 м, а товщина шару зростає до  $h=1,4$  м. Тому кут нахилу на глибині 5 м не визначався, у припущенні, що зростання товщини шару (розуцільнення)

характеризує початок розриву шару і початок його зсуву.

Результатами аналізу значень кутів нахилу ґрунту усіх точках, занесених до табл. 2, робимо висновок, що у зоні, яка показана на фиг. 1, 2 дійсно сформувалася область провалоутворення, яка на максимальній глибині penetрації характеризується непорушеними, але заглибленими до різниці у 1–2 м шарами ґрунту. При цьому кути нахилу точок, виділені знаком <, характеризують нахил шару до центру зони провалоутворення та підтверджують вірність розрахунків координат центру  $X_0$  та  $Y_0$ .

Для висоти penetрації 5 м для усіх точок зондування визначено розриви шарів ґрунту, а це означає, що точка 9 знаходиться у зоні м'якої зсуву, а зона непорушених ґрунтів на цій глибині знаходиться за її межами.

На цей час розроблена методика, яка дозволяє дослідження ґрунтів у зонах підробки і визначення параметрів ґрунтів при зміні поверхні у районах підземної розробки корисних копалин.

Таблиця 1

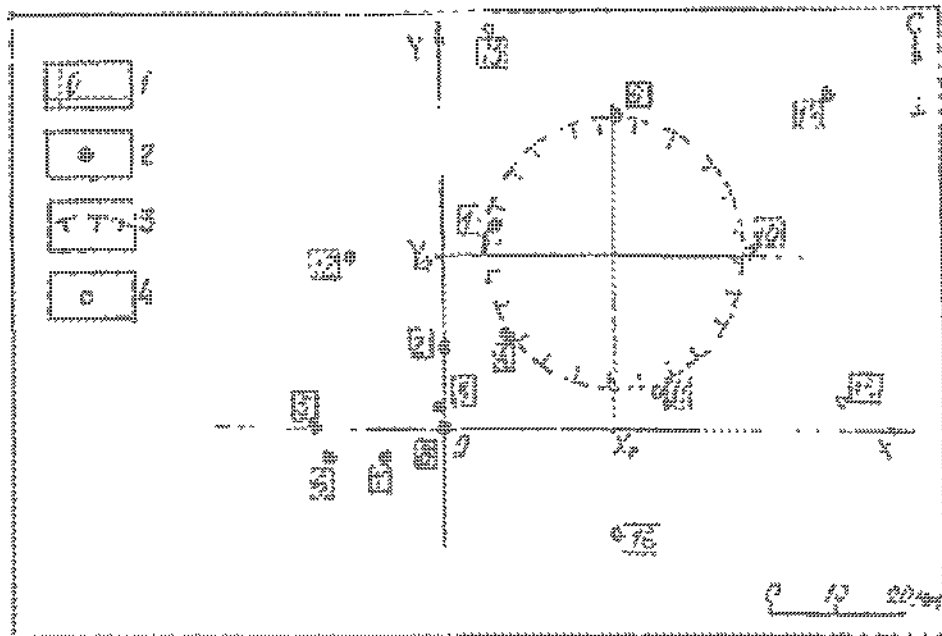
Розрахункові параметри та їх комбінації	№№ точок динамічного зондування								Сума
	1	2	3	4	5	6	7	8	
$X$	10	0	-2	11	-33	-32	-12	0	-58
$Y$	46	21	5	21	0	-7	-7	0	79
$XY$	460	0	-10	231	0	224	84	0	989
$X^2$	100	0	4	121	1089	1024	144	0	2482
$Y^2$	2116	441	25	441	0	49	49	0	3121
$X^2 + Y^2$	2216	441	29	562	1089	1073	193	0	5603
$X(X^2 + Y^2)$	22160	0	-58	6182	-35937	-34336	-2316	0	-44305
$Y(X^2 + Y^2)$	101936	9261	145	11802	0	-7511	-1351	0	114282
$(X^2 + Y^2)^2$	4910656	194481	841	315844	1185921	1185921	37249	0	7796321
$p$	5,1	4,9	5,6	4,5	6,1	5,4	6,6	4,6	42,8
$pX$	51,0	0	-11,2	49,5	-201,3	-172,8	-79,2	0	-364,0
$pY$	234,6	102,9	28,0	94,5	0	-37,8	-46,2	0	376,0
$p(X^2 + Y^2)$	11301,6	2160,9	162,4	2529,0	6642,9	5794,2	1273,8	0	29864,8
$L$	26,7	40,7	51,7	31,4	79,8	82,7	67,2	53,8	434,0
$pL$	136,17	199,43	289,52	141,30	486,78	446,58	443,52	247,5	2390,78
$p^2$	26,01	24,01	31,36	20,25	37,21	29,6	43,56	21,16	232,72
$L^2$	712	1657	2669	986	6361	6833	4513	2896	26627
$(\sum L_i/n - L)^2$	759,0	183,60	6,50	522,12	652,80	809,4	167,70	0,20	3101,32

Примітка: надані величини  $p$  – у МПа, координати – в метрах.

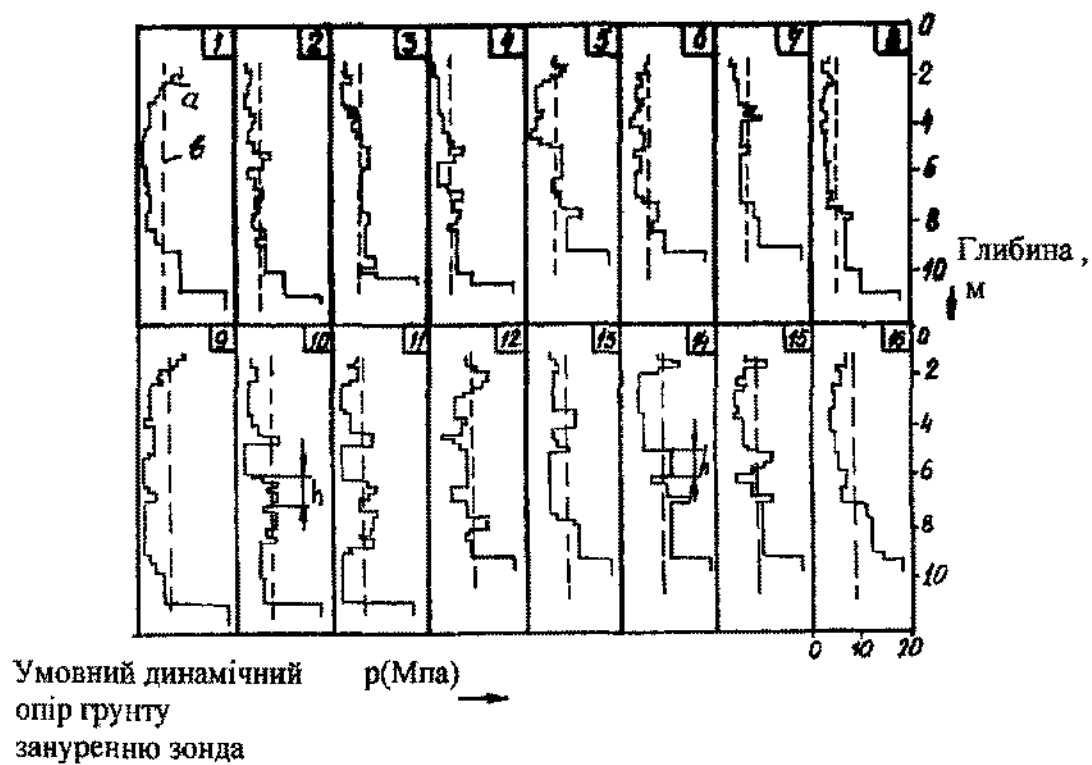
Таблиця 2

Значення кутів для глибини 5 і 10 м	№№ точок динамічного зондування					
	7	12	13	14	15	16
1		*	*			
		$< 5^{\circ}10'$	$< 5^{\circ}$			
4	$* < 1^{\circ}10'$	*				
	$< 3^{\circ}$					
9			*	*		
			$< 5^{\circ}$	$< 4^{\circ}$		
10			*	*		
			$< 5^{\circ}50'$	$< 4^{\circ}35'$		
11					*	*
					$< 4^{\circ}35'$	$< 5^{\circ}10'$

Примітка:  $< 10^{\circ}$  – кут нахилу шару ґрунту між точками зондування; \* – присутність розриву між точками.



Фіг. 1



Фіг. 2

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2002 р. Формат 60x84 1/8  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид арк. Тираж 50 прим. Зам. \_\_\_\_\_

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180  
(044) 268-25-22