

ОПІР ПІЩАНОГО ГРУНТУ ПРИ ЩІЛИННОМУ РІЗАННІ ШИРОКИМ НОЖЕМ

Михайло Сукач, Роман Новіков

Київський національний університет будівництва і архітектури

Анотація. Змодельований процес утворення щілини у піщаному ґрунті під геостатичним тиском. Експериментально встановлено величину лобового опору широкому плоскому ножу із двостороннім загостренням.

Ключові слова: Піщаний ґрунт, опір різанню, щілина, широкий ніж.

ВСТУП

Згідно з технологією влаштування горизонтальних порожнин [1, 9, 10] у масиві ґрунту на глибині 5 м пробурюють із кроком 1...2 м декілька паралельних свердловин діаметром від 40 до 80 мм на всю довжину споруди, під якою створюється протифільтраційний екран. У просторі між сусідніми свердловинами закріплюється рухомий ріжучий ніж. За допомогою тягових канатів по напрямним трубам переміщують вздовж свердловин ніж, який утворює таким чином щілину у ґрунті. Останню заповнюють протифільтраційним матеріалом для запобігання обваленню ґрунту, спричиненому його вагою, а також вагою розташованої над ним споруди.

Закономірності занурення робочих органів землерийних машин у ґрунт із утворенням стружки достатньо повно висвітлено у роботах [2, 3, 8, 11, 12] та ін. авторів. Різання ґрунту без утворення стружки відбувається при зануренні паль штампів або при так званому закритичному різанні [4, 13]. Відмінність вертикального занурення від горизонтального полягає в тому, що воно відбувається в умовах перемінного опору по глибині.

Відомі способи розробки ґрунту канатом, пропущеним між двома блоками, які переміщуються вздовж напрямку різання. Канат може бути споряджений ріжучими елементами, наприклад у вигляді зубців, або циліндрів з ріжучою кромкою для відбивання міцної породи, як це виконується у гірничій справі. Щодо рекомендацій із визначення лобового опору в глибині масиву, то вони досить приблизні і не враховують багатьох факторів, що впливають на ефективність процесу розробки ґрунту [5, 15].

За прийнятою технологією ширина ножа значно більша за діаметр каната, тому сили різання по боковій поверхні інструмента не мають суттєвого значення і залишаються сталим на всій розроблюваній порожнині. Отже, для тягових розрахунків і підбору обладнання в першу чергу необхідно визначити лобовий опір ріжучого ножа.

МЕТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою дослідження є постановочний експеримент щодо визначення опору піщаного ґрунту різанню широким плоским ножем під геостатичним тиском в умовах, наближених до натурного процесу.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ РІЗАННЮ ҐРУНТУ

Випробування проведено за допомогою приладу ПГС-2М конструкції інституту «Гідропроєкт», який дозволяє визначати деформації зсуву ґрунту під вертикальним тиском до 1,25 МПа, що відповідає геостатичному тиску ґрунту на глибині до 6,5 м. Для збільшення робочого ходу серійного приладу (рис. 1), який складає 50 мм, в НДІ будівельного виробництва розроблено спеціальну приставку до нього (рис. 2), що дозволило вивчати процес різання довжиною до 280 мм. Приставка представляє собою ґрунтовий лоток розміром 400×140×130 мм, споряджений рухомою у вертикальному напрямі кришкою, яка сприймає тиск, що утворюється важільним механізмом [1].

На рис. 1, 2 позначено: 1 – серійний прилад; 2 – приставка; 3 – механізм горизонтального пересування ножа; 4 – механізм моделювання вертикального тиску; 5 – ніж; 6 – тяговий трос; 7 – вузол кріплення ножа; 8 – кришка рухома; 9 – перегородка знімна; 10 – противаги; 11 – індикатор годинникового типу; 12 – пісок.

Змінні ножі мають ріжучу кромку з центральним кутом від 30 до 90° і з одностороннім зрізом – від 10 до 30°; ширину 60 мм та висоту (товщину прорізу) – 10 мм (табл. 1). В експериментах оцінювались зусилля, що виникають при зануренні плоских ножів з різним кутом різання (фактор X_1) у дрібнозернистий пісок вологістю (фактор X_2) до 18 % при наявності вертикального навантаження (фактор X_3) на глибині 3...5 м від денної поверхні ґрунту.

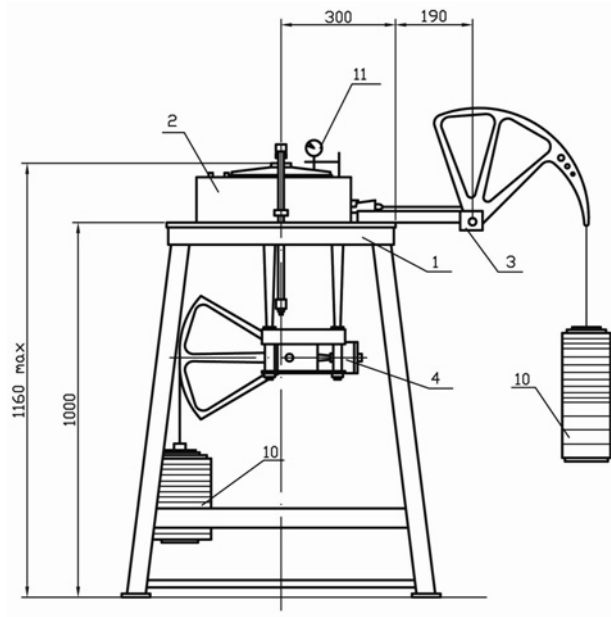


Рис. 1. Зсувний прилад ПГС-2М
Fig. 1. Device of change ПГС-2М

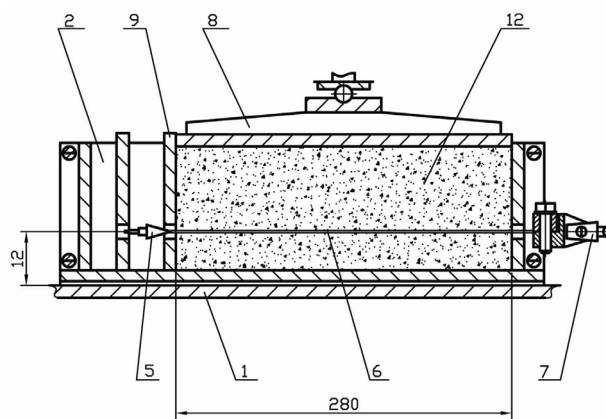


Рис. 2. Приставка до зсувного приладу
Fig. 2. Prefix is to the device of change

У дослідженнях застосовано 9 різновидів кута загострення ножів, дві величини вологості ґрунту (повітряно-сухий і водонасичений), два значення вертикального обтискування ґрунту, що відповідають глибині від 3 до 5 м. Отже, загальна кількість експериментів повинна бути не менше $9 \times 2 \times 2 = 36$ (а з урахуванням їх повторюваності – щонайменше $36 \times 3 = 108$). Тому використовували метод планування експериментів [6, 14], згідно з яким кількість дослідів при повному факторному експерименті складає $2^3 = 8$ (табл. 2).

Таблиця 1. План експерименту
Table 1. Plan of experiment

Найменування	Кодоване значення фактора	Рівні варіювання		
		-1	0	+1
Кут загострення ножів, град.	X_1	30	60	90
Вологість піску, %	X_2	0	9	18
Зовнішнє навантаження, МПа	X_3	0,057	0,0785	0,1

У процесі досліджень за допомогою комплексу [7] визначались фізичні властивості піску до і після проведення дослідів (густина, вологість); зусилля, необхідні для переміщення ножів різної конфігурації (за допомогою гир на підвісі); вертикальне переміщення кришки вантажного відсіку приставки при переміщенні під нею ножів різної конфігурації (індикатором годинникового типу).

В якості інтерпольованої функції прийнято поліном першого ступеню у вигляді

$$Y = b_0 X_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 + b_{123} X_1 X_2 X_3. \quad (1)$$

Коефіцієнти полінома визначаються за формулою $b_j = \frac{\sum_{i=1}^N y_i x_i^j}{N}$, де j – номер фактора; i – номер дослідів; N – загальна кількість дослідів.

Згідно з одержаними даними шукана функція має вигляд

$$Y = 25,27X_0 + 4,34X_1 + 3,88X_2 + 7,28X_3 + 0,29X_1X_2 - 0,3X_1X_3 + 1,83X_2X_3 - 0,36X_1X_2X_3. \quad (2)$$

Таблиця 2. Матриця вимірювань та розрахунків
Table 2. Matrix of measuring and calculations

№ дослідів	1	2	3	4	5	6	7	8	Коефіцієнти
X_0	+	-	-	+	-	-	+	+	25,27
X_1	-	-	+	+	-	-	+	+	4,34
X_2	-	+	-	+	-	+	-	+	3,88
X_3	+	-	-	+	-	+	+	-	7,28
$X_1 X_2$	+	-	-	+	+	-	-	+	0,29
$X_1 X_3$	-	-	+	+	+	+	-	-	-0,3
$X_2 X_3$	-	+	-	+	+	-	+	-	1,83
$X_1 X_2 X_3$	+	+	+	+	-	-	-	-	-0,36
Y_1	23,90	17,74	16,64	40,46	12,52	31,29	36,70	26,44	
Y_2	21,24	18,71	16,33	44,60	12,0	24,76	33,50	25,16	
Y_3	22,90	20,49	14,13	41,78	11,48	29,22	35,34	24,33	
Y^*	22,68	18,98	15,70	42,28	12,00	30,09	35,18	25,31	202,22

* Середнє значення питомого опору різанню за трьома дослідями, рандомізованими у часі, МПа.

Відновлюваність експерименту оцінювали за критерієм Кохрена

$$G_{\max} = \max \frac{s_j^2}{\sum_{j=1}^m s_j^2}, \quad (3)$$

де $s_j^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_j)^2$ – дисперсія відклику; $N = 8$; $m = 3$ – число паралельних дослідів. Табличне значення критерію Кохрена $|G_{N_1, N_2}|$ за рівнем значимості $\alpha = 0,05$, числі ступенів вільності $k_1 = m - 1 = 2$ та кількості дослідів $N = 8$ становить $|G_{N_1, N_2}| = 0,82$. Результати експерименту відновлювані, оскільки $G_{\max} = 0,29 < |G_{N_1, N_2}| = 0,82$ (табл. 3).

Таблиця 3. Параметри статистичної обробки даних
Table 3. Parameters of the statistical processing of data

Дисперсії відклику										Критерій Кохрена		
s_1^2	s_2^2	s_3^2	s_4^2	s_{12}^2	s_{13}^2	s_{23}^2	s_{123}^2	s_{12}^2	s_{13}^2	s_{23}^2	G_{k_2, k_3}	$ G_{k_2, k_3} $
1,80	1,94	1,87	4,47	0,27	1,15	0,46	0,13	1,90	1,96	0,29	0,29	0,82
<i>t</i> -критерій Стьюдента										Критерій Фішера		
t_0	t_1	t_2	t_3	t_{12}	t_{13}	t_{23}	t_{123}	$t_{k_2, q/2}$	F	$F_{k_2, k_3, q}$		
90,25	15,50	13,85	26,00	1,03	1,07	6,53	1,29	2,12	3,09	3,24		

Перевірку значимості оцінок коефіцієнтів регресії проводили за *t*-критерієм Стьюдента

$$t_i = \frac{b_i}{s_{b_i}} \quad (4)$$

де $s_{b_i} = \frac{s_{\epsilon}^2}{\sum x_{ij}^2}$; $s_{\epsilon}^2 = \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{N}$ – дисперсія шуму. При числі ступенів вільності $k_2 = N(m-1) = 16$ і рівні значимості $q = 0,05$ табличне значення *t*-критерію Стьюдента $t_{k_2, q/2} = 2,12$. Оскільки коефіцієнти b_{12} , b_{13} , b_{123} виявились незначними для вибраного рівня значимості, уточнене рівняння регресії

$$y = 25,27 + 4,34X_1 + 3,88X_2 + 7,28X_3 + 1,83X_2X_3 \quad (5)$$

Адекватність лінійної моделі функції відклику перевіряли за критерієм Фішера

$$F = \frac{ms^2}{s_{\epsilon}^2} \quad (6)$$

де $s_{\epsilon}^2 = \frac{1}{N-d} (\sum_{i=1}^m (y_i - \hat{y}_i)^2 - N \sum_{j=1}^d b_j^2)$. Табличне значення $F_{k_2, k_3, q} = 3,24$, де $k_3 = N - d = 3$. Одержане рівняння регресії адекватно описує процес утворення плоским ножом порожнини у піщаному ґрунті, оскільки $F = 3,09 < F_{k_2, k_3, q} = 3,24$.

Величина питомого опору різанню (при найбільшому розмаху факторів) змінювалась від 1,2 до 4,23 МПа; при цьому його максимальне значення не перевищувало рекомендований опір для безтраншейної прокладки трубопроводів [2, 14]. Найбільший вплив на опір різанню в досліджуваному діапазоні має вертикальне навантаження (X_3), потім – форма загострення ножа (X_1), найменший – вологість піску (X_2). Із збільшенням вологості піску до 18 % спостерігалось зростання питомого опору на 15...20 %.

ВИСНОВКИ

Дослідження підтвердили можливість утворення горизонтальної щілини широким плоским ножом у піщаному ґрунті під геостатичним тиском до 0,1 МПа. При достатній однорідності і вологості ґрунтового масиву у природному стані питомий опір різанню для ножів із двостороннім кутом загострення до 90° і співвідношенням ширини до висоти 6 : 1 складає 1,2...4,23 МПа.

ЛІТЕРАТУРА

1. Чернухин А.М., Галинский А.М. Новая технология устройства тонкого противодиффузионного экрана под картой полигона токсичных отходов с поврежденной гидроизоляцией // Нові технології в будівництві.– 2001.– Вип. № 1.– С.51-53.
2. Зеленин А.Н. Физические основы теории резания грунтов.– М.: АН СССР, 1950.– 412 с.
3. Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами.– М.: Машиностроение, 1971.– 356 с.
4. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій (Основи теорії, проектування та створення). Навч. посіб.– Рівне: Вид-во РДТУ, 1999.– 277 с.
5. Кюн Г., Шойбле Л., Шлик Х. Закрытая прокладка непроходимых трубопроводов.– М.: Стройиздат, 1993.– 168 с.
6. Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике.– К.: Техніка, 1984.– 200 с.
7. Сукач М.К., Литвиненко І.М., Бондар Д.В. Система автоматизованого керування та вимірювання параметрів технологічних процесів // Motrol, 2010.– Вип. 11В.– С.186-195.
8. Баладінський В.Л., Лівінський О.М., Хмара Л.А. та ін. Будівельна техніка: навч. посібник.– К.: Либідь, 2001.– 368 с.
9. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин.– М.: Машиностроение, 1977.– 288 с.
10. Сукач М.К., Филонов Ю.П. Модель перемещения грунта по ножу при вырезании щели в глубине массива // Ґірн., буд., дор. і меліорат. машини: Всеукр. зб. наук. праць.– Вип. 66.– 17-21 с.
11. Моисеенко В.Г. Прогнозирование рабочих нагрузок землеройных машин в особых условиях.– К.: Вища шк., 1987.– 199 с.
12. Ветров Ю.А., Кархов А.А., Кондра А.С., Станевский В.П. Машины для земляных работ: учебник.– К.: Вища школа, 1981.– 384 с.
13. Мусійко В.Д. Екскаватори поздовжнього копання: навч. посіб.– К.: НТУ, «ЗАТ» Віпол, 2008.– 240 с.
14. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: учеб. пособие.– М.: Высш.школа, 1981.– 335 с.
15. Сукач М.К., Дворниченко А.П., Кривоблоцька Л.М., Джирма С.О., Особливості проходки свердловин великого діаметра в міцних ґрунтах // Конструювання,

виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. між від. наук.-техн. зб.– Кіровоград: КНТУ, 2007.– Вип. 37.– С.311-314.

RESISTANCE OF SANDY SOIL IS AT CRACK CUTTING
BY WIDE KNIFE

Michael Sukach, Roman Novikov

Annotation. The modelled process of formation of crack is in sandy soil under geostatic pressure. The size of head-resistance is experimentally set to the wide flat knife with the bilateral intensifying.

Keywords: Sandy soil, resistance to cutting, crack, wide knife