

## ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА БАГАТОФАКТОРНИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗУСИЛЛЯ ПРОКОЛЮВАННЯ РОБОЧИМ ОРГАНОМ АКТИВНОЇ ДІЇ

*Наведено результати експериментальних досліджень ґрунтопроколюючого робочого органа активної дії в умовах повітряного змащення бокової поверхні з використанням теорії подоби, фізичного моделювання та планування експериментів.*

*Ключові слова:* ґрунтопроколюючий робочий орган, проколювання ґрунту, повітряне змащування, регресійне рівняння, критерій подоби

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.** В останній час усе більше розповсюдження набуває технологія безтраншейного прокладання інженерних комунікацій, в основі котрої лежить утворення горизонтальної порожнини в ґрунті без його екскавації. Найбільш ефективним способом є проколювання ґрунту за допомогою конічних робочих органів ґрунтопроколюючими пристроями порівняно простої конструкції. Інтенсифікувати процес проколювання й розширити можливості ґрунтопроколюючих пристроїв без підвищення величини їх силових і потужнісних параметрів дозволяє використання стисненого повітря як мастильного матеріалу для повного усунення чи суттєвого зменшення тертя між боковою поверхнею робочого органа та ґрунтом. При цьому необхідне проведення досліджень з вивчення взаємодії активного робочого органа з ґрунтом в умовах повітряного змащення, працеемність і об'єм яких може бути значно скорочено завдяки використанню теорії фізичного моделювання та методики багатofакторного експерименту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання цієї проблеми й на які спирається автор.** Стосовно будівельно-дорожніх машин для визначення їх техніко-економічних параметрів із дослідження процесів взаємодії робочих органів з середовищем методи подібності та фізичного моделювання були розроблені проф. В.І. Баловнєвим [1]. Вони з успіхом використовуються як для виявлення факторів, що здійснюють найбільший вплив на експлуатаційні параметри землерийно-транспортних машин [3], так і для визначення раціональних параметрів технічних об'єктів [2].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Визначення осьового зусилля проколювання при дослідженні та аналізі взаємодії ґрунтопроколюючого конічного робочого органа в умовах газового

змащення за допомогою методів уподібнення, моделювання та багатофакторного експерименту.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** З метою вивчення комплексного впливу величини витрат стисненого повітря, діаметра робочого органа, розміру щілини для подачі стисненого повітря, міцності ґрунту на зусилля проколювання, в лабораторних умовах було поставлено багатофакторний експеримент з використанням теорії планування екстремальних експериментів. З огляду на відсутність математичних залежностей між зазначеними основними параметрами процесу було використано метод аналізу розмінностей для встановлення системи критеріїв уподібнення. В результаті отримано критеріальне рівняння, що описує процес проколювання ґрунту робочим органом активної дії з повітряним змащенням

$$\frac{P}{\rho \times d^3} = f(X_1, X_2, X_3, X_4), \quad (1)$$

де  $P$  – зусилля проколювання;

$\rho$  – щільність ґрунту;

$d$  – діаметр основи наконечника, з-під якого подається стиснене повітря на бокову поверхню конічного робочого органа;

$X_1 = \frac{Q}{V \times d^2}$  – критерій подоби, що характеризує витрати повітря  $Q$  ( $V$  – швидкість проколювання);

$X_2 = \frac{D}{d}$  – критерій уподібнення, що характеризує діаметр робочого органа  $D$ ;

$X_3 = \frac{t}{d}$  – критерій уподібнення, що характеризує розмір щілини  $t$  для подачі стисненого повітря;

$X_4 = C$  – критерій уподібнення, що характеризує міцність ґрунту ( $C$  – число ударів динамічного щільноміру).

Процес взаємодії ґрунтопроколюючого робочого органа з ґрунтом описується рівнянням регресії другого порядку

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \times x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} \times x_i \times x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \times x_i^2, \quad (2)$$

де  $b_0$  – залишковий член рівняння;

$b_i$  – коефіцієнт лінійної регресії для  $i$ -ого фактора;

$b_{ij}$  – коефіцієнт парної взаємодії  $i$ -ого та  $j$ -ого факторів;

$b_{ii}$  – коефіцієнт регресії при квадратичному члені  $i$ -ого фактора;

$n$  – число факторів.

Відповідно до плану проведення чотирифакторного експерименту рівняння регресії другого порядку набуде такий вигляд:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{34} x_3 x_4 \quad (2)$$

Реалізація чотирифакторного ортогонального плану при трикратній повторюваності вимагає проведення 75 дослідів. Матриця чотирифакторного ортогонального плану з даними по поверхні відгуку наведена в таблиці 1. Тут же в графі «Примітка» представлено залежності, за котрими може бути здійснено перехід від кодованого позначення до натуральних перемінних.

**Таблиця 1. Планування багатофакторного експерименту**

№ з/п	X <sub>0</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	-1	-1	-1	-1	1068	$X_1 = 1,4142 \frac{Q}{V \times d^2} - 119;$ $X_2 = 1,4142 \frac{D}{d} - 2,08;$ $X_3 = 1,4142 \frac{t}{d} - 0,017;$
2	+1	+1	-1	+1	-1	1039	
3	+1	-1	-1	+1	+1	2677	
4	+1	-1	+1	-1	+1	6084	
5	+1	+1	+1	-1	-1	2359	
6	+1	+1	-1	-1	+1	2067	
7	+1	-1	+1	+1	-1	3398	
8	+1	+1	+1	+1	+1	5922	
9	+1	-1	-1	-1	+1	2263	
10	+1	+1	-1	-1	-1	878	
11	+1	-1	+1	-1	-1	2870	
12	+1	-1	-1	+1	-1	1264	
13	+1	+1	+1	+1	-1	2793	
14	+1	-1	+1	+1	+1	7204	
15	+1	+1	-1	+1	+1	2203	$X_4 = 1,4142 \frac{C - 7}{3}.$
16	+1	+1	+1	-1	+1	5003	
17	+1	-1,4142	0	0	0	3487	
18	+1	+1,4142	0	0	0	2662	
19	+1	0	-1,4142	0	0	1084	
20	+1	0	+1,4142	0	0	4955	
21	+1	0	0	-1,4142	0	2698	
22	+1	0	0	+1,4142	0	3426	
23	+1	0	0	0	-1,4142	1506	
24	+1	0	0	0	+1,4142	4394	
25	+1	0	0	0	0	3019	

Діапазон зміни кожного фактора вибирався, виходячи з результатів пошукових експериментів і апріорних відомостей про досліджуваний процес. Дані з діапазонів зміни всіх факторів зведено в таблиці 2.

**Таблиця 2. Діапазони зміни досліджуваних факторів**

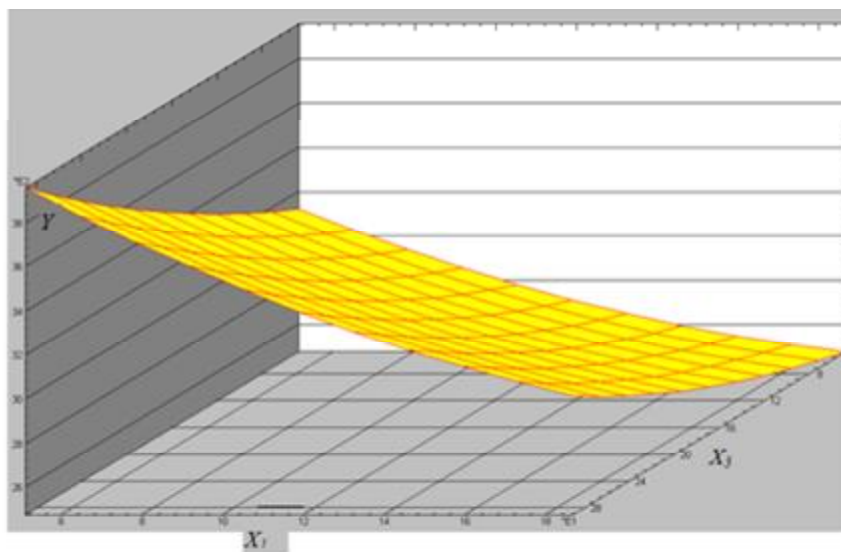
Кодове позначення	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
-1,4142	51,2	1,32	0,0047	4
-1	71,0	1,54	0,0083	5
0	119,0	2,08	0,0170	7
+1	167,0	2,61	0,0260	9
+1,4142	186,8	2,83	0,0290	10

Після реалізації програми експериментів виконана перевірка адекватності отриманого рівняння експериментальним даним за допомогою критерію Фішера, а оцінювання значущості коефіцієнтів регресії – за критерієм Стьюдента. Рівняння регресії у кінцевому вигляді має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
 Y = & 308,35 + 10,09 \times X_1 - 713,43 \times X_2 - 64302,76 \times X_3 - 309,99 \times X_4 + 0,019 \times X_1^2 + \\
 & + 76,50 \times X_2^2 + 413449,66 \times X_3^2 - 4,40 \times X_4^2 - 5,83 \times X_1 \times X_2 - 89,70 \times X_1 \times X_3 - \\
 & - 0,98 \times X_1 \times X_4 + 27688,85 \times X_2 \times X_3 + 457,31 \times X_2 \times X_4 + 4523,12 \times X_3 \times X_4
 \end{aligned} \quad (3)$$

Розходження дійсних і отриманих за рівнянням регресії значень зусилля проколювання знаходиться в середньому в межах 2,84%, що свідчить про достатньо високу точність, з якою одержане рівняння описує досліджуваний процес.

Аналіз результатів лабораторного експерименту виконували за рівнянням регресії (3) і графіком, зображеним на рисунку 1, де зображений у вигляді еліптичного параболоїда взаємовплив факторів, які визначають витрати стисненого повітря та розмір щілини для подачі стисненого повітря, на зусилля проколювання. При побудові залежності фактори, котрі характеризують діаметр робочого органа та міцність ґрунту, приймалися на нульовому рівні.



**Рис. 1.** Залежність зусилля проколювання від величин  $X_1 = \frac{Q}{V \times d^2}$  і  $X_3 = \frac{t}{d}$

## **Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі**

Аналіз рівняння регресії (3) і поверхні, зображеної на рисунку 1, показує, що найбільше зниження зусилля проколювання (на 28%) досягається при максимальній величині подачі стисненого повітря на бокову поверхню конічного ґрунтопроколюючого робочого органа та мінімальній, з конструктивних міркувань, ширині щілини для подачі стисненого повітря. За рахунок отриманого зниження зусилля проколювання може бути збільшений діаметр порожнини, яка проколюється, в 1,13 разу.

### *Література*

1. Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин / В.И. Баловнев. – М.:Высшая школа, 1981 – 335 с.
2. Меньшенин С.Е. Полный факторный эксперимент для определения рациональных параметров технических объектов / С.Е. Меньшенин, А.Н. Дровников [Электронный ресурс] – Режим доступа: [www.itsinpi.ru](http://www.itsinpi.ru).
3. Недорезов И.А. Имитационное моделирование рабочих процессов землеройно-транспортных машин с целью ранжирования их параметров / И.А. Недорезов, Н.Н. Симонов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сборник научных трудов. – 2012. – Выпуск 57. – С. 63 – 67.

*Надійшла до редакції 20.11.2012*

© С. Л. Хачатурян

**УДК 628.247.652.784:533.6.011**

*С. Л. Хачатурян, к.т.н., доц.*

*Кировоградский национальный технический университет*

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И МНОГОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЯ ПРОКОЛА РАБОЧИМ ОРГАНОМ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*Приведены результаты экспериментальных исследований рабочего органа активного действия для прокола ґрунта в условиях воздушной смазки боковой поверхности с использованием теории подобия, физического моделирования и планирования экспериментов.*

*Ключевые слова:* ґрунтопрокалывающий рабочий орган, прокол ґрунта, воздушная смазка, регрессионное уравнение, критерий подобия.

UDC628.247.652.784:533.6.011

*S. L. Hachaturian, Ph. D., Associate Professor  
Kirovograd National Technical University*

**A PHYSICAL DESIGN AND MULTIFACTOR EXPERIMENT FOR  
DETERMINATION OF EFFORT OF PRICKING OF ACTIVE ACTION  
A WORKING ORGAN**

*The results of experimental researches of working organ of active action are resulted for the puncture of soil in the conditions of the air greasing of lateral surface with the use of theory of similarity, physical design and planning of experiments.*

**Keywords:** *working organ for the puncture of soil, air greasing, regressive equalization, criterion of similarity.*