

Таким чином, отримані результати свідчать, що періодичність перешкоди позначається на формі перетину дифракційного пучка у вигляді розширення у одному із напрямків. Відбувається спотворення амплітудної та фазової структур дифракційного пучка. Різниця величин ширини пучка у взаємно перпендикулярних напрямках і можливе зміщення їх фазових центрів призводить до спотворення структури пучка, що виявляється в його астигматизмі. Як наслідок цього, виникає необхідність корекції лінзової системи в антенній системі, що проектується.

## Література

1. Hofmann, Tino; Herzinger, C. M.; Boosalis, A.; Tiwald, T. E.; Woollam, John A.; and Schubert, Mathias, "Variable-wavelength frequency-domain terahertz ellipsometry" (2010). Faculty Publications from the Department of Electrical and Computer Engineering. 118. <https://digitalcommons.unl.edu/electricalengineeringfacpub/118>
2. Provalov S., Sydorenko Yu., Shylo S. Estimation of the parameters of focused beams at short distances for antennas of diffraction radiation at the millimeter wave band. *American Journal of Electromagnetics and Applications*, 2022, Vol. 10, no. 2, pp. 16-24. doi: 10.11648/j.ajea.20221002.11
3. Provalov S., Sydorenko Y., Shylo S. Wheeler D. Compact MMW-band Planar Diffraction Type Antennas for Various Applications. *American Journal of Electromagnetics and Applications*, 2020, Vol. 8, no. 1, pp. 18-27.

УДК 624.132.3

### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ГРУНТОПРОКОЛЮЮЧОЇ ГОЛОВКИ ВІД ОСІ ПРИ СТАТИЧНОМУ ПРОКОЛІ ҐРУНТУ

В.М. Супонев В.М, В.М. Рагулін, В.В. Наволоков, О.О. Лемець  
*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*  
*v-suponev@ukr.net; ragulinrvn@ukr.net; slaviknavolokov@gmail.com;*  
*m1a24loo@stud.khadi.kharkov.ua*

В сучасних міських умовах виникає необхідність прокладання різноманітних інженерних комунікацій, які проходять під дорогами, будинками та спорудами. Для безтраншейного прокладання підземних комунікацій доцільне використання малогабаритних, легко та швидко монтованих установок. Одним з методів та його обладнання, котрий відповідає цим вимогам є установки для статичного проколу ґрунту. Метод дозволяє ефективно прокласти розподільні мережі, діаметр яких у більшості випадків не перевищує 300 мм, а довжина підземної проходки визначається шириною шляхів та трамвайних колій, які необхідно перетинати при

будівництва. Однак, суттєвим недоліком методу є низька точність траєкторії проколу, що обмежує їх використання до 20-25 м.

Таким чином, збільшення довжини ефективної проходки горизонтальної свердловини методом статичного проколу ґрунту шляхом використання установки з можливістю корекції траєкторії руху проколюючої головки у ґрунті є актуальною задачею.

Загальні питання проколу ґрунту детально досліджені в роботах [1–3], а в роботах [4; 5] запропоновані конструкції проколюючих наконечників, які забезпечують, при певних умовах, керування траєкторією їх руху. Однак у вказаних роботах відсутні рекомендації по врахуванню впливу на траєкторію руху проколюючої головки жорсткість штанг та вузлів їх з'єднання.

Ціллю проведених досліджень було розробка математичної моделі процесу та оцінка керованості траєкторією руху проколюючої головки в ґрунті з урахуванням жорсткості штанг та люфтів в місцях їх з'єднання.

Системний аналіз існуючих установок дозволив отримати їх узагальнені технічні характеристики параметрів, з яких можна бачити, що найбільш частіше проколюючий став набирається із штанг, довжина яких складає 500 мм – 1000 мм, а діаметр – 57 мм – 76 мм. Для визначення впливу люфтів в з'єднаннях штанг на відхилення траєкторії руху робочого органу було припущення, що різьбові з'єднання штанг не є абсолютно жорсткими та мають деякі люфти, а викривлення траєкторії відбувається в деякій площині орієнтованій в просторі під деяким кутом, а штанги абсолютно жорсткі [5]. Тому порушення жорсткості всієї системи можливе тільки в вузлах стикування штанг, відповідно координати точок з'єднання можна представити наступною схемою, рис. 1.

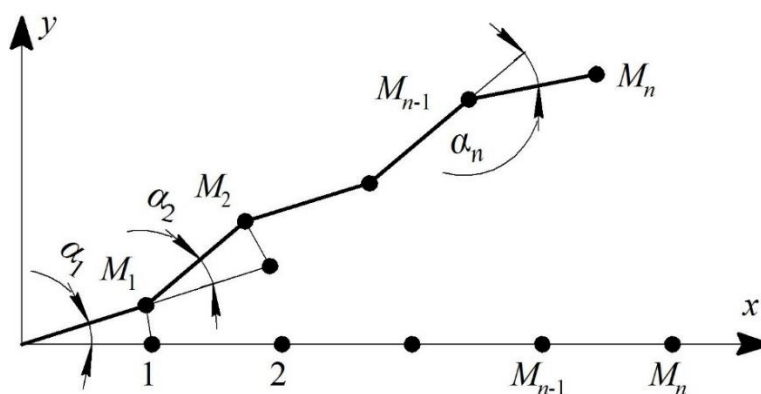


Рис. 1. Схема траєкторії проколюючого робочого органу, де  $n$  - кількість штанг,  $\alpha$  - кут відхилення штанги

Координати точок з'єднання штанг проколюючого робочого органу в площині можна представити у вигляді:

$$M_i(x_i; y_i) \quad i=0; 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

при  $i=0$ ;  $M_0(0;0)$ ;

$i=1$ ;  $M_1(l \cos \alpha_1; l \sin \alpha_1)$ ;

$i=k$ ;  $M_k(x_{k-1} + l \cos \beta_k; y_{k-1} + l \sin \beta_k)$ ;

$k=1; 2, \dots, n$ ;  $\beta_k = \alpha_k + \beta_{k-1}$ ;  $\beta_0 = 0$ .

При відомих координатах  $M_i(x_i; y_i)$  за допомогою методу найменших квадратів було встановлено характер траєкторії руху робочого органу.

Після відхилення рух головки може відбуватися по прямій лінії або криво-лінійної, наприклад, параболі.

Якщо траєкторія руху робочої головки після відхилення від заданої траси має наступні відхилення, то ламану криву для практичних розрахунків можна замінити параболою.

Для встановлення залежності для параболі введемо нові позначення

$$k_{x^3} = \sum_{i=0}^n x_i^3; \quad k_{x^4} = \sum_{i=0}^n x_i^4; \quad k_{x^2 y} = \sum_{i=0}^n x_i^2 y_i \quad (2)$$

Тоді рівняння для визначення коефіцієнтів параболі можна представити як

$$\begin{cases} ak_{x^4} + bk_{x^3} + ck_{x^2} = k_{x^2 y}; \\ ak_{x^3} + bk_{x^2} + ck_x = k_{xy}; \\ ak_{x^2} + bk_x + (n+1)c = k_y. \end{cases} \quad (3)$$

Рішення системи рівнянь (3) при умові, що довжина однієї штанги  $l = 1$  м;  $\alpha_i = \alpha = 1^\circ$  призведе до рівняння параболі

$$Y = \frac{0,17}{250} x^2 + \frac{2,32}{100} x. \quad (4)$$

Залежність (4) дозволяє, з урахуванням прийнятих припущень визначити відхилення траєкторії руху при будь-яких довжинах проколу свердловини.

Чисельний аналіз траєкторії руху робочого органу проводився при наступному вихідному масиві: довжина штанги  $l_{\text{шт}} = 1$  м; кількість штанг  $n_{\text{шт}} = 20$  шт; максимальне відхилення має місце при відхиленні першої штанги, відповідно на кут  $\alpha_i = 1^\circ; 2^\circ$  и  $3^\circ$ .

На рис. 2 представлені дані про величини відхилення головки від заданої траєкторії з урахуванням довжини свердловини

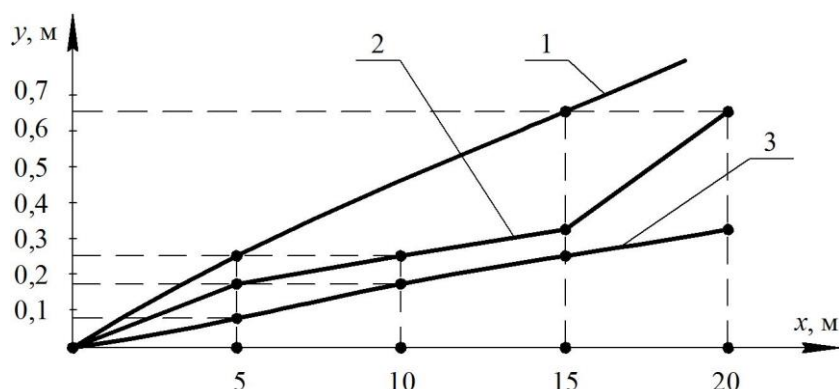


Рис. 2. Залежності відхилень робочого органу від горизонтальної траси:  
 1 –  $\alpha = 3^\circ$ ; 2 –  $\alpha = 2^\circ$ ; 3 –  $\alpha = 1^\circ$

Залежність рис. 5 наочно показують величини відхилень з урахуванням довжини траси і кутів нахилу окремих ланок робочого органу, що проколює.

Запропоновані математичні моделі дозволяють встановлювати орієнтовні зміни відхилень робочого органу ґрунтопроколюючої машини з урахуванням довжини траси і кута відхилення будь-якої з штанг. Імовірність відхилень робочого органу від заданої траси досить висока, тому тимчасові установки проколу повинні мати систему оперативної корекції траси.

## Література

1. Rudnev V.K., Suponiyv V.N., Saenko N.V. et al. Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. №2. С. 100–107.
2. S. Kravets, V. Suponyev, A. Goponov, S. Kovalevskyi, A. Koval. Determination efficient operating modes and sizes of blades for multi-scraper trench excavators. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 4/1(16). С. 23–28.
3. Супонев В.М., Балесний С.П., Пімонов І.Г. Встановлення величини відхилення ґрунтопроколюючого робочого органу з асиметричним наконечником при корекції траєкторії його руху - Вісник ХНАДУ. Збірник наукових статей. Випуск №92, 2021, т.1. Харків, ХНАДУ. С. 172-178.
4. Nilo Tsung, Mingming Zheng, Mohammad Najafi, Saleh Mehraban. A Comparative Study of Soil Pressure and Deformation of Pipes Installed by the Open-Cut Method and Trenchless Technology // *Pipelines 2016: Out of Sight, Out of Mind, Not Out of Risk*. 2016.
5. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини (Основи теорії, проектування та створення). Рівне: РДТУ, 1999. – 277с.

5. Супонев В.М., Кравець С.В., Посмітюха О.П., Балесний С.П. Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті Монографія. Харків, ХНАДУ, 2021. 304 с.

6. Супонев В.М. Створення обладнання для розробки горизонтальних свердловин комбінованими способами статичної дії. Монографія. Харків, ХНАДУ, 2018. 196 с.

УДК 691.32

## **КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЯКІСТЬ ТОРКРЕТ-БЕТОНУ, ТА НАПРЯМИ ЇХ ОПТИМІЗАЦІЇ**

В.В. Блажко, О.Б. Григорків, Є.В. Шугай

*Харківський національний університет міського господарства*

*імені О.М. Бекетова*

*blazhko.vladimir@kname.edu.ua*

У сучасному будівництві технологія торкретування бетону широко застосовується під час реконструкції, підсилення та ремонту будівельних конструкцій, а також при спорудженні підземних об'єктів, тунелів, гідротехнічних споруд і транспортної інфраструктури [1]. Основною перевагою цього методу є можливість нанесення бетонної суміші на поверхні складної геометрії без використання традиційної опалубки, що дозволяє значно скоротити трудомісткість робіт і підвищити їх ефективність.

Разом із тим якість сформованого торкрет-бетонного шару значною мірою залежить від великої кількості технологічних, матеріалознавчих та організаційних факторів. Недостатній контроль цих параметрів може призводити до зниження міцності, підвищеної пористості, нерівномірної структури та інших дефектів покриття [2].

У зв'язку з цим актуальним завданням є проведення комплексного аналізу факторів, що визначають властивості торкрет-бетону, а також формування підходів до їх оптимізації. Це дозволить підвищити ефективність технології торкретування та забезпечити стабільну якість бетонного покриття при різних умовах виконання робіт.

Метою даного дослідження є систематизація основних факторів, що впливають на формування структури та властивостей торкрет-бетону, а також визначення напрямів удосконалення технологічних параметрів процесу його нанесення.

Торкрет-бетон являє собою бетонну суміш, яка наноситься на поверхню конструкції під дією потоку стисненого повітря. У процесі транспортування та нанесення суміші відбувається її інтенсивне ущільнення, що сприяє формуванню щільної структури матеріалу [3].