

УДК 624.132.3

## ВИЗНАЧЕННЯ СИЛИ ОПОРУ ГРУНТУ ПРИ ОЧИЩЕННІ СВЕРДЛОВИНИ ПІСЛЯ ЇЇ РОЗШИРЕННЯ КІЛЬЦЕВИМ НОЖЕМ

Супонєв В.Н.

### DETERMINATION OF THE RESISTANCE OF THE SOIL WHEN CLEANING THE BORE AFTER ITS EXPANSION RING KNIFE

Suponyev V.

*Одним з напрямів розвитку безтраншейного прокладання інженерних комунікацій є використання комбінованого способу утворення горизонтальних свердловин, який поєднує в собі дві технології розробки ґрунту: прокол з радіальним ущільненням ґрунту та продавлювання на етапі розширення свердловини кільцевими ножами. Зрізаний ґрунт видаляється скребком. В роботі встановлюються закономірності процесу очищення свердловини від ґрунту та визначаються зусилля на його видалення.*

**Ключові слова:** безтраншейні технології, прокол ґрунту, продавлювання ґрунту, комбінований метод, інженерні комунікації, горизонтальна свердловина.

**Вступ.** Серед існуючих технологій формування горизонтальних свердловин, які використовуються при безтраншейному прокладанні інженерних комунікацій, є комбінований метод, який використовує кращі особливості двох методів: статичного проколу та продавлювання. В першому випадку мінімізується об'єм ґрунту шляхом його радіального ущільнення. Але навколо свердловини утворюється велика зона деформації ґрунту, яка може привести до руйнування основи доріг та прилеглі комунікації. В другому випадку майже увесь ґрунт по профілю свердловини потрапляє в ґрунт, але не діє на навколишнє середовище. Поєднання позитивних якостей двох технологій дозволяє підвищити ефективність створення свердловини, що є актуальним питанням.

**Аналіз публікацій.** В ресурсах світової наукової періодики, можуть бути виділені роботи [1,2], де розглянуті активні методи безтраншейних технологій, але в них мало приділено уваги статичному проколу.

Дослідження [3,4] присвячені вибору способу виконання робіт, з детальним аналізом переваг та недоліків різних технологій. А в роботах [5,6] увагу приділяють безтраншейним технологіям спорудження та ремонту лінійно-протяжних трубопроводів. Також слід відмітити дослідження [7], яке присвячене вибору способу та планування виконання

особливо відповідальних робіт, що виконуються при безтраншейному прокладанні підземних комунікацій.

В роботі [8] описані можливості розширення безтраншейних технологій до потрібних розмірів та способи виконання робіт.

В дослідженнях [9] визначається вплив ґрунту на комунікації, що розташовані над ними, та на труби, що прокладені на певній глибині.

Вченими, які займаються вирішенням проблеми безтраншейного прокладання підземних комунікацій з мінімальними енергозатратами, в останні роки присвячено багато досліджень. Так, в роботах [10, 11] велику увагу приділено проколюванню ґрунту на невеликі відстані до 50 м. Одним з таких напрямів є дослідження комбінованого методу, який поєднує в собі методи проколу та продавлювання ґрунту [12].

**Мета роботи.** Метою роботи є визначення сили опору ґрунту при очищенні свердловини після її розширенні кільцевими ножами під час формування свердловин комбінованим методом.

У відповідності до поставленої мети слід визначити особливості процесу взаємодії скребкового робочого органу з ґрунтом при його екскавації з свердловини та визначити сили опору, які виникають при цьому.

**Визначення сили опору ґрунту при очищенні свердловини.** Об'єктом даного дослідження є процес взаємодії дискового скребкового робочого органу з ґрунтом при очищенні свердловини після його зрізання кільцевими ножами. Відсутність аналітичних розрахунків сил опору ґрунту від просування скребка по свердловині не дає можливості провести повноцінний аналіз процесу та оцінити вплив розміру свердловини та властивостей ґрунту на мінімальну довжину проходки при її очищенні скребковим робочим органом у вигляді круглого диску.

Після розширення свердловини кільцевим ножом всередині по всій її довжині залишається зрізаний розпушений ґрунт. Видалення його може здійснюватися виштовхуванням його очисним диском. Розглянемо що відбувається при цьому процесі.

На першому етапі по мірі руху диска перед ним буде накопичуватися ґрунт, доки не утворюється призма волочиння, рис. 1, етап I. При подальшому переміщенні диску весь перетин свердловини заповнюється ґрунтом і він починає стискатися, рис. 1, етап II. Наступне переміщення диска приводить до того, що виникаючий тиск диску настільки великий, що розташований перед ним ґрунт не тільки стискається, але і частково витискується у стінки свердловини, рис.1, етап III. Нарешті, подальше переміщення диску приводить до того, що тиск диску досягає максимальної

величини, при котрій весь ґрунт на відрізку переміщення диску вминається в стінки свердловини. Далі проходить стабільний процес очистки свердловини від ґрунту.

Визначимо величину нормального тиску диску на розташований перед ним ґрунт, рис. 2.

Виділимо на відстані від диску елемент ґрунта довжиною  $dx$ . На виділений елемент з обох його сторін будуть діяти нормальні тиски відповідно  $\sigma$  і  $\sigma + d\sigma$ . По периметру виділеного елемента буде діяти нормальний тиск  $\tau$ . Визначається розпором стислого ґрунту и буде рівним:

$$\sigma_n = \xi \sigma, \tag{1}$$

де  $\xi$  – коефіцієнт бокового тиску;

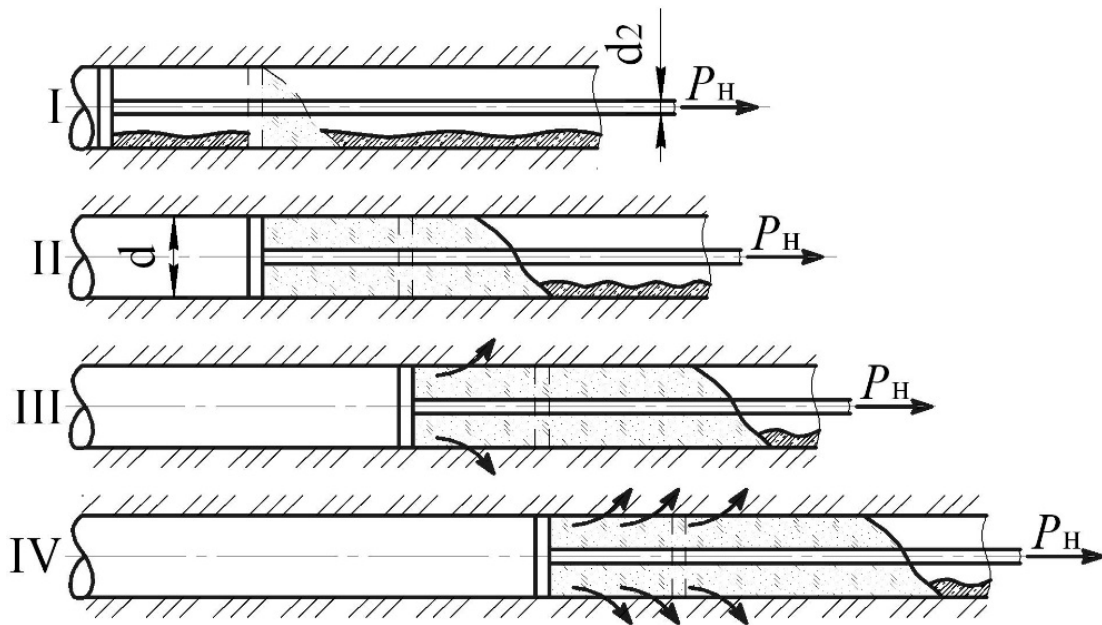


Рис. 1. Очищення свердловини від зрізаного ґрунту:  
 I етап – формування призми волочиння перед очисним диском;  
 II етап – деформування ґрунту диском; III етап – стиснення ґрунту диском с частковим ущільненням ґрунту в стінки свердловини; IV етап – стиснення ґрунту диском с повним витісненням ґрунту в стінки свердловини

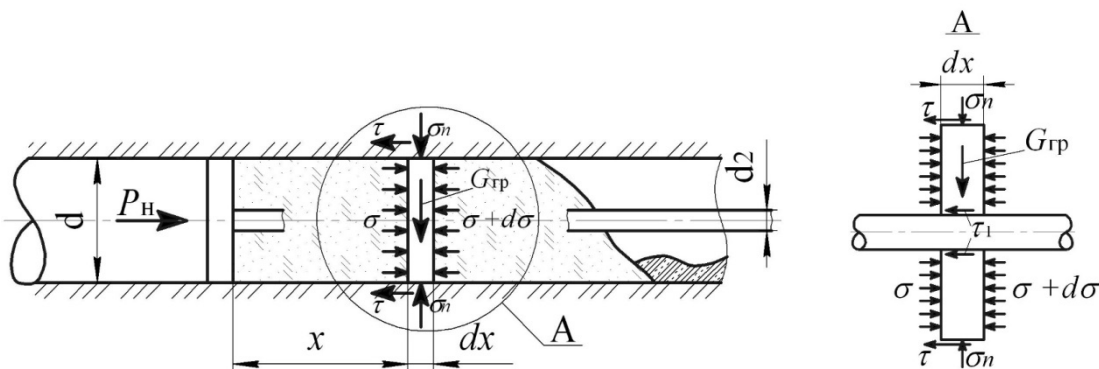


Рис. 2. Схема к визначенню величини тиску очисного диску на ґрунт, що виштовхується

При зміщенні виділеного елемента по його периметру будуть діяти дотичні напруження. Величину  $\tau$  можливо визначити як внутрішнє тертя ґрунту

$$\tau = \operatorname{tg} \rho \cdot \sigma_n = \xi \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \sigma, \quad (2)$$

де  $\rho$  – кут зовнішнього тертя ґрунту;  $\sigma$  – тиск ґрунту на поверхню скребка, який з умови взаємодії з розпушеним ґрунтом [27] може бути визначеним по залежності:

$$\sigma = \frac{2E_p I_2}{\alpha_1 (d_1 - 2\delta - d_2)}, \quad (3)$$

де  $\alpha_1$  – поправочний коефіцієнт, звичайно 1,25;  $E_p$  – модуль деформації розпушеного ґрунту.

Внаслідок деформації ґрунту виникає також зовнішнє тертя ґрунту о штангу:

$$\tau_1 = \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \sigma, \quad (4)$$

де  $\varphi$  – кут зовнішнього тертя ґрунту.

Впливом ваги виділеного елемента ґрунту  $G_{zp}$  зневажаємо.

Складемо рівняння рівноваги для виділеного елемента ґрунту:

$$\frac{\pi}{4} d^2 \sigma = \frac{\pi}{4} d^2 (\sigma + d\sigma) + \xi \cdot \operatorname{tg} \rho \cdot \pi \cdot d \cdot \alpha x + \xi \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \alpha x$$

Звідки:

$$\frac{d\sigma}{\left(4\xi \frac{\operatorname{tg} \rho}{d} + \xi \operatorname{tg} \varphi \frac{4d_2}{d^2}\right) \sigma} = -dx, \quad (5)$$

$$\frac{d^2}{4\xi (d \operatorname{tg} \rho + d_2 \operatorname{tg} \varphi)} \ln \sigma = -x + C$$

Постійну величину знайдемо з умови  $x = 0$ ;

$$\sigma = \sigma_{\max}$$

$$C = \frac{d^2}{4\xi (d \operatorname{tg} \rho + d_2 \operatorname{tg} \varphi)} \ln \sigma_{\max}, \quad (6)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр свердловини.

Тоді залежність, яка описує розподіл тиску  $\sigma$  по довжині свердловини (рис. 3), буде:

$$\sigma = \sigma_{\max} \cdot e^{-\frac{4\xi (d \operatorname{tg} \rho + d_2 \operatorname{tg} \varphi)}{d^2} \cdot x} \quad (7)$$

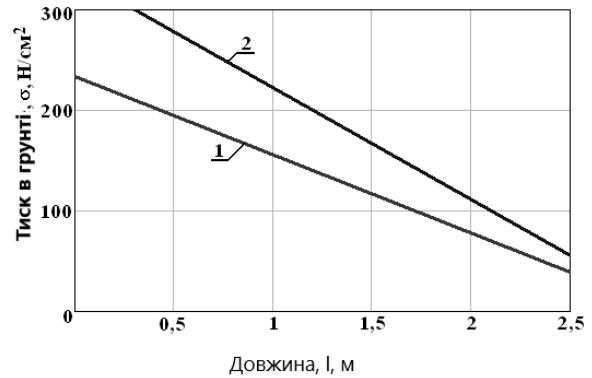


Рис. 3. Зміна тиску в призмі ґрунту в залежності від відстані до очисного диска: 1 – ґрунт II категорії міцності; 2 – ґрунт III категорії міцності

Величину  $\tau$  визначимо з умови, що весь ґрунт перед очисним диском при його русі витискується в стінки свердловини. Схема просування ножа відображена на рис. 4.

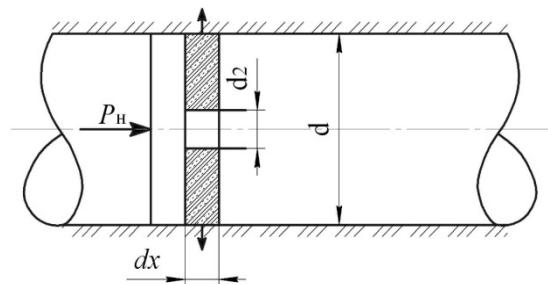


Рис. 4. Схема витиснення ґрунту в стінки свердловини

Виділимо поруч з диском елемент ґрунту товщиною  $dx$ . При переміщенні диска на величину  $dx$  виділений об'єм ґрунту буде повністю вдавлений в стінки свердловини, тобто:

$$\frac{\pi (d^2 - d_2^2)}{4} dx = \pi d \cdot dx \cdot \delta' \quad (8)$$

де  $\delta'$  – товщина вдавненого шару ґрунту.

Звідси:

$$\delta' = 0,25 \left( d - \frac{d_2^2}{d} \right) \quad (9)$$

Вдавити такий ґрунт може нормальний тиск  $\sigma_n$ :

$$\sigma_n = \frac{P_\partial}{\xi}, \quad (10)$$

де  $P_\partial$  – питомий опір ґрунту вдавлюванню, таблиця, [13].

Таблиця

Питомий опір ґрунту вдавлюванню,  $P_\partial$ , Н/см<sup>2</sup>

Тип и стан ґрунту	$P_\partial$ , Н/см <sup>2</sup>
Болото	4...6
Заболочений ґрунт	8...10
Мокра глина, пухкий пісок	20...40
Крупний пісок, волога середня глина	40...60
Середня глина и міцна глина волога	60...70
Міцна глина середньої вологості, мергель и ліс вологі	80...100
Міцна глина, мергель та ліс сухі	110...150

При виборі величини  $P_\partial$  слідкує пам'ятати, що вдавлювання відбувається в ущільнений ґрунт. Згідно даним табл. 2.3 и 2.4 його фізико-механічні властивості збільшуються в 1,5 – 2 рази.

На основі викладеного:

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_n}{\xi} = \frac{P_\partial}{\xi}. \quad (11)$$

Для очистки свердловини до натискного диска необхідно прикладати зусилля, рис. 5:

$$P_H = \frac{\pi P_\partial}{4\xi} (d^2 - d_2^2). \quad (12)$$

Ця залежність справедлива, коли довжина свердловини більше її мінімальної довжини.

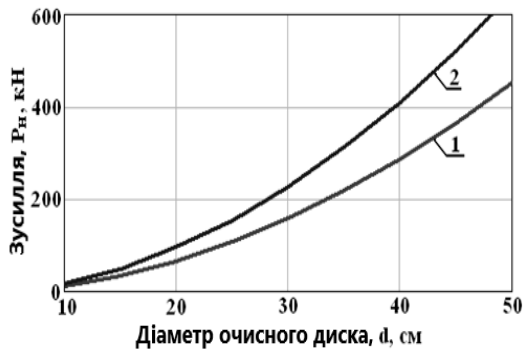


Рис. 5. Залежність зусилля очистки свердловини від її діаметру: 1 – ґрунт II категорії міцності; 2 – ґрунт III категорії міцності

Зневажаючи довжиною I етапу проходження свердловини, рис. 1 і використовуючи рівняння (9), (12) визначимо мінімальну довжину свердловини як суму довжин проходження диском II, III, IV етапів:

$$l_{\min} = l_{II} + l_{III} + l_{IV} = \frac{\alpha_1 p}{2\xi E_p} d + \frac{d^2}{4\xi (dtg\rho + d_2 tg\varphi)} \ln \frac{\xi \sigma_{\max}}{p} + \frac{d^2}{4\xi (dtg\rho + d_2 tg\varphi)} \ln \frac{\xi \sigma_{\max}}{P_{\text{атм}}} = \frac{\alpha_1 p}{2\xi E_p} d + \frac{d^2}{4\xi (dtg\rho + d_2 tg\varphi)} \ln \frac{\xi \sigma_{\max}^2}{p \cdot P_{\text{атм}}}, \quad (13)$$

де  $P_{\text{атм}}$  – атмосферний тиск повітря;

$p$  – опір ґрунту зминанню, який може розглядатися в даному випадку, як питомий опір ґрунту зм'якшенню. Для суглинку II та III категорії має значення 6...10 Н/см<sup>2</sup>, [13].

Враховуючи, що величина визначається співвідношенням (11), то (13) перепишемо у вигляді:

$$l_{\min} = \frac{\alpha_1 p}{2\xi E_p} d + \frac{d^2}{4\xi (dtg\rho + d_2 tg\varphi)} \ln \frac{P_\partial^2}{\xi \cdot p \cdot P_{\text{атм}}}. \quad (14)$$

Графіки залежності мінімальної довжини свердловини від її діаметру наведені на рис. 6.

Природно, коли виконують свердловину довжиною менше мінімальної, напірне зусилля для її очистки буде декілька менше. Однак при проектуванні установок слід користуватися залежністю (12)

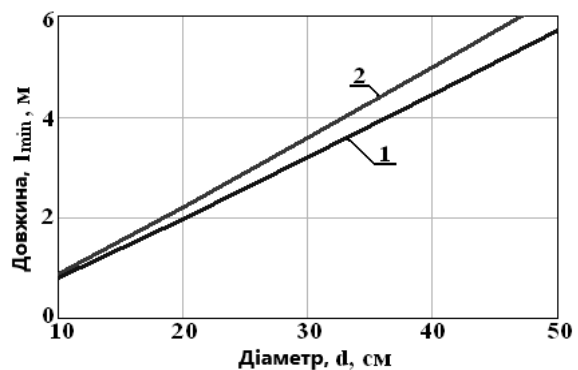


Рис. 6. Залежність мінімальної довжини свердловини від її діаметру: 1 – ґрунт II категорії міцності; 2 – ґрунт III категорії міцності

На рис. 5 і рис. 6 представлені графіки залежності розподілу тиску в ґрунтовій призмі при очистці свердловини в залежності від відстані до очисного диску, зусилля очистки свердловини від зрізаного ґрунту і залежності мінімальної довжини свердловини від її діаметру.

Мінімальна довжина свердловини, по якій розподіляється максимальний тиск на ґрунт при очистці свердловини, знаходиться практично в прямій залежності від її діаметру, рис. 6. Тиск же в ґрунті при віддаленні від скребка різко падає, рис. 3.

**Висновки.** Отримана теоретична залежність для визначення сили опору ґрунту при очищенні свердловини скребоквим органом, дозволила встановити, що опір ґрунту має змінний характер та суттєво зростає від величини діаметру свердловини.

Встановлено, що мінімальна довжина також визначається діаметром свердловини та для діаметру свердловини, наприклад 300 мм ефективною довжина очищення буде в межах 3,6...3,8 м. Міцність ґрунту на процес очищення свердловини має незначний вплив.

#### Література

- Erez N. Allouche, Samuel T. Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. Published online: April 26, 2012. [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55).
- Pridmore A., Geisbush J. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling // Pipelines 2017. Pipelines Planning and Design Book set, 2017. P. 553–563. <https://doi.org/10.1061/9780784480878>
- Hastak M., Gokhale S., Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction // Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference. New York, 2009. DOI: 10.1115/1.802922.paper30
- Zhao Jun Ling Bian. Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 2014. P. 187.
- Jian Xin. Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology // International Conference on Pipelines and Trenchless Technology. 2014. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>
- Hastak Makarand, Gokhale Sanjiv. Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction // Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference, Baosong Ma, ASME. doi: 10.1115/1.802922.paper30
- Sterling Raymond L. International Technology Transfer in Tunneling and Trenchless Technology // Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference. Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper6.
- 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. <https://doi.org/10.1061/9780784479957.132>
- Кравець С., Посмітюха О., Супонев В. Аналітичний спосіб визначення опору занурення конусного накопичувача в ґрунт // СММ ПДАБА. 2017. Вып. 103. С. 91–98.
- Балесный С. Особенности процессов статического прокола ґрунта. *Вісник ХНАДУ*. 2017. Вып. 76. С. 138–141.
- Супонев В.Н., Хачатурян С., Олексин В. Исследование процесса изменения состояния ґрунта вокруг горизонтальной скважины после её формирования методом статического прокола ґрунта // *Вісник ХНАДУ*. 2016. Вып. 73. С. 196–202. 12.
- Олексин В.И. Комбинированный метод разработки горизонтальной скважины при бестраншейной прокладке коммуникаций / В.И Олексин // *Вестник ХНАДУ*. Сб. науч. ст. X.: – 2012. Вып. 57. – С. 207 – 213.
- Дорожные машины. Часть 1. Машины для земляных работ / [Алексеева Т.В., Артемьев К.А., Бромберг А.А. и др.]. – [3-е изд.]. – М.: – Машиностроение, 1972. – 504 с.

#### References

- Erez N. Allouche, Samuel A. (2012). State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. American Society of Civil Engineers, 8. [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55)
- Pridmore, A., Geisbush, J. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. Pipelines 2017. Pipelines Planning and Design Book set, 553–563.
- Hastak, M., Gokhale, S. (2009). Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction. Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference. New York, 18.
- Zhao Jun Ling Bian. (2014). Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 187.
- Jian Xin. (2014). Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology. International Conference on Pipelines and Trenchless Technology. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>
- Hastak Makarand, Gokhale Sanjiv. (2009). Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction. Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference, Baosong Ma, ASME. New York, 18.
- Sterling Raymond L. (2009). International Technology Transfer in Tunneling and Trenchless Technology. Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference. Baosong Ma, ASME. New York, 8.
- Nilo Tsung, Mingming Zheng, Mohammad Najafi, Saleh Mehraban. (2016). 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.
- Najafi, M., Brett, G., Davis, G. (2009). Details of Field Testing of Major Trenchless Technology Methods for Road Crossings. Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference, Baosong Ma, ASME. New York, 9.
- Chehab, A. G., Moor, I. D. (2007). One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations. Otta-vaGeo, 1140–1154.
- Guojun, Wen, Xiaoming, Wu, Han, Chen. (2009). Trenchless Pipe-Paving in Complex Hard Stratum by Directional Drilling Technology. Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference (ICGE 2007), Baosong Ma, ASME. New York, 8.
- Oleksin V. (2012). Kombinirovanny method razrobotki sverdlloviny pruz beztransheynoy prokladke komunikaziy. Vtsnik HNADY/ Sb. Nauch. St. H. Vip. 57. – 207-213.

13. Alexeev T., (1972) Dorognii mashiny/. Pat. 1. Mashine dly zemlynih robot. . – М.: – Mashinostroenie. 504 p..

**Супонев В.Н. Определение силы сопротивления грунта при очистке скважины после её расширения кольцевым ножом.**

*Одним из направлений развития бестраншейных технологий прокладки инженерных коммуникаций является применение комбинированного способа формирования горизонтальных скважин. Этот способ объединяет в себе две технологии разработки грунта: прокол с радиальным уплотнением грунта и продавливания на этапе расширения скважины кольцевым ножом. Срезанный грунт удаляется скребком. В работе определяются закономерности процесса очистки скважины грунта и определяются усилия на его удаление.*

**Ключевые слова:** бестраншейные технологии, прокол грунта, продавливание грунта, комбинированный метод, инженерные коммуникации, горизонтальная скважина.

**Suponyev V. Determination of the resistance of the soil when cleaning the bore after its expansion ring knife.**

*One of the directions of development of trenchless technologies of laying engineering communications is the use of combined ways of forming horizontal wells. This way consolidate two technology ground: puncture in the ground radial seal and forcing expansion phase wells circular knife. With snipped primer is removed a scraper. In the work determining of patterns of the cleaning process and identifies the ground wells efforts on removing it.*

**Ключові слова:** бестраншейні технології, прокол ґрунту, продавлювання ґрунту комбінований метод інженерні комунікації, горизонтальна скважина.

**Супонев Володимир Миколайович** – к.т.н., доц. кафедри будівельних і дорожніх машин Харківський національний автомобільно-дорожній університет. E-mail: v-suponev@ukr.net.

*Рецензент:* д.т.н., проф. **Суворін О.В**

Стаття подана 15.12.2018.