

УДК 624.132.3

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2020.88.2.93

ВИЗНАЧЕННЯ АЛГОРИТМУ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ ТА РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО УТВОРЕННЯ СВЕРДЛОВИН ПІД ЧАС ПРОКЛАДАННЯ ПІДЗЕМНИХ КОМУНІКАЦІЙ

Супонєв В. М.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Пропонується алгоритм вибору технологій утворення горизонтальних свердловин та методики визначення параметрів наконечників для утворення підземних комунікаційних порожнин статичним проколюванням, продавлюванням ґрунту та їх комбінацією. Основою отриманих методик є результати комплексного дослідження процесів розроблення свердловин в ґрунті наконечниками робочих органів, які забезпечують безтраншейне прокладання інженерних комунікацій із врахуванням технологічних особливостей процесів та фізико-механічних властивостей ґрунтів. Запропонований алгоритм дозволяє на стадії проектування інженерних мереж визначити ефективну технологію статичного проколу ґрунту та підібрати обладнання відповідно до технологічних особливостей та умов створення комунікаційних порожнин в ґрунті.

Ключові слова: ґрунтопроколювальні робочі органи, безтраншейні технології, інженерні комунікації, прилади статичного проколу ґрунту.

Вступ

Останнім часом з появою нових сучасних матеріалів з виготовлення труб для тепло- та енергетичних мереж, електричних кабелів, ліній зв'язку тощо з поліетилену, склопластику, гнучкого чавуну спостерігається активний розвиток технології безтраншейного прокладання інженерних комунікацій. Ефективність будівництва мереж значною мірою визначається швидкістю та якістю утворення ґрунтових порожнин (або, як їх ще називають, горизонтальних свердловин), крізь які вони просуваються. Серед відомих технологій розроблення ґрунту під час їх створення в окрему групу можна виділити статичні методи формування свердловини, які діють за принципом домкрата. До цієї групи належать методи проколу та продавлювання ґрунту, а також їх комбінації [1]. Під час використання процесу першого методу весь ґрунт ущільнюється навколо свердловини, його екскавация назовні практично відсутня. І навпаки, під час використання другого методу весь ґрунт протискується крізь металеву оболонку та видаляється назовні різними механічними приладами. Очевидним є те, що перший метод є значно дешевшим, але він має значний недолік, який пов'язаний з утворенням значної зони деформування ґрунту навколо свердловини, що може призвести до руйнування дорожньої основи або прилеглих комунікацій. Комбінований метод формування свердловини складається частково з

розроблення ґрунту методом проколу, а частково методом продавлювання.

Останнім часом гострою стає проблема створення можливості керування траєкторією просування робочого органу під час статичного проколювання ґрунту на велику відстань за допомогою асиметричного наконечника.

Таким чином, вибір технології та робочого обладнання для ефективного розроблення ґрунтових комунікаційних порожнин є сучасною та актуальною проблемою, що пов'язана з інтенсифікацією будівництва підземних мереж.

Аналіз публікацій

Встановлено [1–3], що на процеси створення свердловини статичними методами та на формування величини зони деформування ґрунту навколо неї впливають як параметри свердловини, зокрема її діаметр, довжина, траєкторія, так і фізико-механічні властивості ґрунту, що розробляється.

З аналізу світових наукових періодичних видань можна виділити роботи [4, 5], де розглядаються активні методи безтраншейних технологій, але в цих роботах майже не приділено уваги статичному проколу.

Дослідження [5, 6] присвячені вибору способу проведення робіт, а також детальному аналізу переваг та недоліків різних технологій. А в роботах [7, 8] розглядаються безтраншейні технології спорудження та ремон-

ту лінійно-протяжних трубопроводів. Також необхідно виділити дослідження [9], яке присвячене вибору способу та планування проведення особливо відповідальних робіт, що здійснюються під час безтраншейного прокладання підземних комунікацій.

У роботі [10] описані можливості розширення безтраншейних технологій до потрібних розмірів та способи проведення робіт.

У дослідженнях [11] описано вплив ґрунту на комунікації, що розташований над ними, а також на труби, що прокладені на певну глибину.

Мета і постановка завдання

Метою роботи є розроблення методології створення робочого обладнання для утво-

рення ґрунтових підземних комунікаційних порожнин статичними способами.

Відповідно до поставленої мети необхідно визначити алгоритм вибору технологій утворення горизонтальних свердловин та методики визначення параметрів обладнання для їх реалізації.

Визначення алгоритму вибору технологій утворення горизонтальних свердловин

Згідно з вище сказаним можна стверджувати, що всі наявні технології утворення горизонтальних комунікаційних порожнин в ґрунті визначаються як їх технологічними особливостями, так і конструктивною формою наконечників виконавчих робочих органів. Їх загальна структура наведена на рис. 1.



Рис. 1. Технології та обладнання для утворення горизонтальних порожнин в ґрунті статичними методами

Вибір технологій створення ґрунтових порожнин для прокладання інженерних комунікацій з використанням установок статичної дії та розрахунки параметрів їхнього робочого обладнання визначаються умовами закладання захисного футляра в ґрунті, які встановлюються на стадії проектно-геологічних робіт, зокрема його діаметром, глибиною закладання, довжиною прольоту та фізико-механічними властивостями ґрунту.

Першою умовою алгоритму є відповідність глибини прокладання свердловини $H_{пр}$ та її діаметра мінімально допустимому значенню глибини закладання горизонтальної свердловини в конкретному типі ґрунту (1).

Дотримання цієї умови унеможливує пошкодження дорожнього полотна під час формування свердловини шляхом радіального ущільнення ґрунту (методом проколу), що і визначає метод утворення горизонтальної порожнини. Мінімальну глибину закладання свердловини від поверхні можна визначити за рівнянням, що наведено в роботі [11]:

$$H_{пр} \geq H_{\min} = \left[4,4 + \frac{1}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}} \right] \cdot D_{св}, \quad (1)$$

де $H_{пр}$ та H_{\min} – проектна та мінімальна глибина прокладання свердловини, м; $D_{св}$ – ді-

метр свердловини, м; n_0 – первісна пористість ґрунту, %.

Якщо умова щодо мінімальної глибини дотримується, то свердловину розробляють методом проколу. Якщо умова не виконується, то методом продавлювання або комбінованими методами.

Розглянемо особливості вибору параметрів робочого обладнання для кожної технології окремо.

Під час розроблення свердловини методом проколу головною умовою для подальшого вибору технології є її довжина. Якщо траса не перевищує гарантованої довжини прямолінійного проколу, що дорівнює 20 м, свердловину можна утворювати трубою з конусним наконечником за один або декілька проходів шляхом створення лідерної свердловини та її розширення конічними розширювачами. Якщо дистанція перевищує 20 м, лідерну свердловину необхідно створювати керованим проколом шляхом почергової зміни форми наконечника головки з конусної на асиметричну та навпаки. Розширення свердловини до встановленого діаметра $D_{св}$ здійснюється також конусними розширювачами.

Перевірка ефективності створення свердловини за умови мінімізації опору ґрунту проколу здійснюється шляхом порівняння заданого діаметра проколу з розрахунковим максимально ефективним, тобто оптимальним діаметром свердловини [3]:

$$D_{св} \leq D_{опт} = 4f \times \frac{0,1\lambda\sigma_1 + (l_u - 0,2)q_3}{\left[\left(1 + \frac{\sigma_1}{E_v} \right)^2 - 1 \right] E_{гр} (1 + fctg\beta)}, \quad (2)$$

де $D_{опт}$ – оптимальний діаметр конусоциліндричного наконечника з виступами, м; $f = \text{tg}\phi$ – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту;

$\lambda = \frac{D_p}{D}$ – співвідношення діаметра зони

пружно-пластичних деформацій D_p до діаметра конусного наконечника D [1]; σ_1 – напруження в ґрунті на межі пружної та пластичної зон, МПа [1]; q_3 – залишковий тиск на циліндричній частині наконечника, якщо $l_u > 0,2$ м ($q_3 = 0,016 \dots 0,035$ МПа), МПа [12]; E_v – модуль об'ємної деформації, МПа [13]; $E_{гр}$ – компресійний модуль деформації, МПа [12]; β – кут нахилу утворювального конуса наконечника, град.

Якщо діаметр свердловини перевищує отриману величину, то необхідно перейти на поетапну технологію розроблення свердловини шляхом створення лідерної та її розширення конусними розширювачами.

Встановлення оптимального діаметра наконечника дозволяє мінімізувати енергетичні витрати на створення свердловини. Якщо тягові можливості обраної установки не відповідають розрахунковому опору ґрунту, то необхідно перейти на поетапну технологію розроблення свердловини шляхом створення лідерної та її розширення конусними розширювачами.

Особливістю керованого проколу є те, що траєкторія руху робочого органу визначається кутом скосу асиметричного наконечника β , який повинен бути встановлений з умови сходження ґрунту з лобової поверхні з одного боку $D_{лід}$. З іншого боку кут скосу визначає траєкторію руху робочого органу та радіус критичного згинання штанг, який визначається величиною максимально допустимого відхилення S . Ці умови повинні бути враховані під час інженерного розрахування параметрів робочого обладнання.

Під час формування свердловини шляхом комбінації методу проколу ґрунту конічним наконечником початкової свердловини та її розширення кільцевими ножами повинна дотримуватись умова неперебільшення максимально допустимого діаметра лідерного проколу:

$$D_{лід} \leq D_{поч.макс} = \frac{H_{св}}{4,4 + \frac{1}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}}}, \quad (3)$$

де $D_{лід}$ та $D_{поч.макс}$ – діаметри лідерної та початково максимальної свердловини, м.

Обираючи кільцеві ножі, необхідно враховувати отримані рекомендації [11] щодо розрахунків та типу ножів, які відповідають умові рівності сил опору під час розширення свердловини. Також для кожного типу необхідно використовувати скребок відповідного розміру для зачищення свердловини після кожного проходження кільцевого ножа.

Умовою використання комбінованого методу продавлювання ґрунту конічноциліндричним наконечником є захищеність дорожнього полотна від пошкодження, коли відстань до свердловини буде меншою, ніж зона руйнування ґрунту, яка утворюється у випадку деформації навколо робочого органу під час його просування.

Отже, згідно з [13]

$$H_{\text{пр}} \geq 0,5(D_p - D_{\text{св}}) = 0,5 \left(\sqrt{\lambda^2 D^2 - (\lambda^2 - 1) \left(\frac{D+d}{2} \right)^2} - D_{\text{св}} \right), \quad (4)$$

де d – діаметр циліндрично-трубчастого наконечника, м;

$$\lambda = \frac{\left(\gamma_{\text{сп}} h + \frac{c}{\text{tg} \varphi_0} \right) \text{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_p}{2} \right)}{\sigma_1}, \quad (5)$$

де $\gamma_{\text{сп}}$ – питома сила тяжіння ґрунту; c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; φ , φ_0 – кути зовнішнього та внутрішнього тертя ґрунту, град.

Розроблення свердловини конічно-циліндричним та циліндрично-кільцевим наконечниками, що здійснюється за допомогою методу продавлювання, відбувається в режимі дискретно-поступального руху. Довжина просування обох типів наконечників визначається умовою забивання внутрішньої порожнини труби. Досягнувши розрахункової максимальної довжини ґрунтового ядра $L_{\text{кер}}$, процес просування необхідно зупинити та здійснити екскавацію ґрунту за допомогою механічних застосувань, наприклад желонкою, шнеками або буровим наконечником, з промивкою свердловини водою. Крок заходження циліндрично-полого наконечника можна визначити з роботи [14] за залежністю

$$\sigma_{\text{пас}} = \gamma H_{\text{пр}} \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + (\gamma H_{\text{пр}} \tan \varphi + C) \cot \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) H_{\text{пр}}^2, \quad (6)$$

У залежності (6)

$$\sigma_{\text{пас}} = \gamma H_{\text{пр}} \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + (\gamma H_{\text{пр}} \tan \varphi + C) \cot \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) H_{\text{пр}}^2, \quad -$$

пасивний тиск ґрунту, а

$$\sigma_{\text{пас}} = \gamma H_{\text{пр}} \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + (\gamma H_{\text{пр}} \tan \varphi + C) \cot \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) H_{\text{пр}}^2, \quad -$$

опір за внутрішньою поверхнею ґрунту, що визначається за залежністю [14]:

$$\sigma_{\text{пас}} = \gamma H_{\text{пр}} \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2C \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + (\gamma H_{\text{пр}} \tan \varphi + C) \cot \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) H_{\text{пр}}^2, \quad (7)$$

$$\sigma_{\text{гр}} = \Delta \sigma \lambda f. \quad (8)$$

Процес повторюються n_k разів, поки не завершиться.

$$n_k = \frac{L_{\text{св}}}{L_{\text{кер}}}. \quad (9)$$

Висновки

Вибір технології базується на силових можливостях привода установок, раціоналізації їх потужності та ефективності способу видалення ґрунту. Так, під час проколу весь ґрунт навколо простору свердловини ущільнюється. А під час продавлювання, навпаки, підлягає евакуації. Отже, продавлювання є більш витратним методом. Комбіновані методи займають проміжне місце.

Після вибору технології створення горизонтальної свердловини для безтраншейного прокладання інженерних комунікацій в ґрунті можна за вибраними параметрами об'їднання для заданої свердловини здійснити тягові розрахунки та визначити силові параметри установок.

Література

1. Кравець С. В., Кованько В. В., Лукянчук О. П. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв: монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 322 с.
2. Кравець С., Посмітюха О., Супонев В. Аналітичний спосіб визначення опору занурення конусного наконечника в ґрунт // СММ ПДАБА. 2017. Вип. 103. С. 91–98.
3. Кравець С., Супонев В., Посмітюха О. Визначення еквівалентного і оптимального діаметрів конічного наконечника з виступами для проколювання ґрунту // НІТ ДНУЗТ. 2017. Вип. 70. С. 89–98.
4. 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).
5. 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>
6. Hastak M., Gokhale S., Decision Tool for Selecting the Most Appropriate Technology for Underground Conduit Construction // Geological Engi-

- neering: Proceedings of the 1st International Conference. New York, 2009. DOI: 10.1115/1.802922. paper 30.
7. Zhao Jun Ling Bian. Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 2014. P. 187.
 8. Jian Xin. Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology // International Conference on Pipelines and Trenchless Technology. 2014. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>.
 9. 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. Paper 30
 10. 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. Paper 6.
 11. Супонев В., Хачатурян С., Олексин В. Исследование процесса изменения состояния грунта вокруг горизонтальной скважины после её формирования методом статического прокола грунта. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Вип. 73. С. 196–202.
 12. Высокопроизводительные гидropневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций / Ешуткин Д. Н., Смирнов Ю. М., Цой В. И., Исаев В. Л. Москва: Стройиздат, 1990. 171 с.
 13. Супонев В. М. Визначення величини зони деформування ґрунту конусно-циліндричним наконечником і тиску на бічній поверхні. *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожнього університету*. Сборник научных трудов. Вип. № 83. 2018. С. 22–28.
 14. Панин А.Н., Сарычев В. И., Прохоров Н. И., Савин И. И. Обоснование параметров совмещенной схемы прокладки труб при бестраншейной технологии. *Известия ТулГУ. Технические науки*. 2013. Вип. 12. Ч.2. С. 298–306.
- ### References
1. Kravets, S., Kovalenko, V., Lukyanchuk, O. (2015). Scientific basis for the construction of earth-tiered machines and underground machine tools. Monograph. Rivne: NUVGP, 322.
 2. Kravets, S., Posmituha, O., Suponnev, V. (2017). An analytical method for determining the resistance of immersion of a conical tip to the soil. *SMM PDABA*, 103, 91–98.
 3. Kravets, S., Suponnev, V. Posmituha, O., (2017). Determination of equivalent and optimal diameters of a conical tip with projections for puncture the soil. *NPT DNUZT*, 70, 89–98.
 4. 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).
 5. Pridmore, A., Geisbush, J. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. Pipelines 2017. Pipelines Planning and Design Book set, 553–563.
 6. 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.
 7. Zhao Jun Ling Bian. (2014). Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 187.
 8. Jian Xin. (2014). Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology. *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*. <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>.
 9. 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.
 10. 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.
 11. Khachaturian, S., Oleksin, V. (2016). The study of the process of changing the state of the soil around a horizontal well after its formation by the method of static puncture of the soil. *VKHADU*, 73, 196–202.
 12. Sushutkin, D. N., Smirnov, Yu. M., Tsoi, V. I., Isayev, V. L. (1990). High-performance hydro-pneumatic shock machines for laying engineering communications. Moscow: Stroyizdat, 171.
 13. Suponyev V.M. Vznachennya velichini zoni deformuvannya ґрунту ko-nusno-cilindrichnim nakonechnikom i tisku na bichnij poverhni. *Vestnik HNADU Harkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta*. Sbornik nauchnyh trudov. Vyp. № 83. 2018. S. 22–28.
 14. Panin A. N., Sarychev V. I., Prohorov N. I., Savin I. I. Obosnovanie parametrov sovmeshyonnoj shemy prokladki trub pri bestransheynoj tehnologii. *Izvestiya TulGU. Tehnicheskie nauki*. 2013. Vyp. 12. Ch. 2. S. 298–306.
- Супонев Володимир Миколайович**¹, к.т.н., доцент, +380 (50) 301-99-58, v-suponnev@ukr.net. Харківський національний автомобільно-дорожній університет.
- Determination of the algorithm of choosing the technologies and working equipment for efficient formation of wells when laying underground utilities**
Анотація. Choice of effective technologies and working equipment for its realization at laying of

underground communications is an important **problem** which requires the creation of a special methodology. It should take into account both the parameters of the well and technological processes of its formation. As a **result** of the integrated studies of the process of creating horizontal wells by methods of static puncture and forcing the soil, as well as their combination has enabled to identify the areas of effective application of each by calculation, and recommend design parameters of the working bodies and power units taking into account the physical and mechanical properties of the soil, which is being developed. The algorithms of the **methodology** determine the influence of the length of their transitions on the accuracy of communications laying, damage to adjacent communications and road beds. The received results allow to optimize the size of the well received by puncturing the soil by conical tip with protruding edge at the base of the cone or its punching by cylindrical-conical tip. The **practical value** of obtained results of the work is in the possibility to choose the most efficient technologies and equipment for trenchless laying of communications at the stage of designing engineering networks considering soil geology and sizes required wells. At the base of recommendations there are **original** technological solutions and the design of work equipment, which can significantly improve the quality and efficiency of building engineering networks.

Suponyev Vladimir Nikolaevich Ph.d., Associate Professor, + 380 (50) 301-99-58, v-suponev@ukr.net. Kharkiv State automobile and highway University.

Определение алгоритма выбора технологий и рабочего оборудования для эффективного создания скважин при прокладке подземных коммуникаций

Аннотация. Выбор эффективной технологии и рабочего оборудования для её реализации при

прокладке подземных коммуникаций является важной **проблемой**, которая требует создания специальной **методологии**. Она должна учитывать как параметры скважины, так технологические процессы её формирования. Проведенные комплексные исследования процесса создания горизонтальных скважин методами статического прокола и продавливания грунта, а также их комбинации позволили расчётным путём установить области эффективного применения каждого из них и рекомендовать конструктивные параметры рабочих органов и силовых установок с учётом физико-механических свойств грунта, который разрабатывается. В основе методологии заложены алгоритмы определения влияния на точность прокладки коммуникаций от длины их переходов, на повреждение прилегающих коммуникаций и основания дорог. Полученные **результаты** позволяют оптимизировать размеры скважины, полученные проколом грунта в основании конусом или его продавливанием конусно-цилиндрическим наконечником. **Практическое значение** полученных результатов работы заключается в возможности выбора на стадии проектирования инженерных сетей с учётом геологии грунта и размеров требуемой скважины наиболее эффективной технологии и рабочего оборудования для бестраншейной прокладки коммуникаций. В основе разработанных рекомендаций лежат **оригинальные** технологические решения и конструкции рабочего оборудования, которые позволяют существенно повысить качество и эффективность строительства инженерных сетей.

Супонев Владимир Николаевич¹, к.т.н., доцент, +380 (50) 301-99-58, v-suponev@ukr.net. Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.