

## ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

УДК 624.132.3

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.83.0.22

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЗОНИ ДЕФОРМУВАННЯ ҐРУНТУ  
КОНУСНО-ЦИЛІНДРИЧНИМ НАКОНЕЧНИКОМ І ТИСКУ НА БІЧНІЙ  
ПОВЕРХНІ

Супонєв В.М.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*Анотація.* Під час формування горизонтальної свердловини для безтраншейного прокладання інженерних комунікацій шляхом продавлювання ґрунту конусно-циліндричним наконечником частина його потрапляє в середину труби для подальшого видалення назовні, а частина ущільнюється навколо, що зменшує загальний об'єм екскавації ґрунту. Такий спосіб створення свердловини називають комбінованим. Ущільнення ґрунту викликає його деформування, що може викликати зсув та пошкодження прилеглих комунікацій або інших підземних споруд. Тому важливим стає питання щодо визначення розміру їх поширення. В роботі наводяться розрахунки величини зони деформування ґрунту конусно-циліндричним наконечником та тиску на його бічній поверхні залежно від його параметрів і властивостей ґрунту що розробляється.

*Ключові слова:* безтраншейні технології, 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 при цьому утворюється велика зона деформованого ґрунту, яка може призвести до пошкодження прилеглих комунікацій. Ці обставини та значні осьові зусилля на проколюючий робочий орган обмежують використання методу у разі створення свердловин діаметром до 250...300 мм.

У другому випадку майже увесь ґрунт по профілю свердловини потрапляє у ґрунт і на навколишнє середовище має незначний вплив. Використовується у разі утворення свердловин великих діаметрів – від 600 мм. Недоліком методу є значний об'єм екскавації ґрунту, який визначається практично усім профілем свердловини. Отримання раціональних параметрів робочого органу для реалізації комбінованого методу в різних типах ґрунту дозволить підвищити ефективність створення свердловини, що є актуальним питанням.

## Аналіз публікацій

Основними напрямками розвитку безтраншейних технологій прокладання комунікацій у світі є горизонтально направлене буріння та мікротонелювання у вигляді статичного продавлювання з екскавцією ґрунту. Опір просуненню робочого органу циліндричної форми для реалізації останньої визначається параметрами робочого органу та властивостями ущільненого ґрунту, що описані авторами в [1–3].

В ресурсах світової наукової періодики можуть бути виділені роботи [4, 5], де розглянуто активні методи безтраншейних технологій, але в них мало приділено уваги статичному проколу.

Дослідження [5, 6] присвячені вибору способу виконання робіт, з детальним аналізом переваг та недоліків різних технологій. А в роботах [7, 8] увагу приділено безтраншейним технологіям спорудження та ремонту лінійно-протяжних трубопроводів. Також слід відмітити дослідження [9], присвячене вибору способу та планування виконання особливо відповідальних робіт, що виконуються у разі безтраншейного прокладання підземних комунікацій.

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

В дослідженнях [11] визначається вплив ґрунту на комунікації, що розташовані над ними, та на труби, що прокладені на певній глибині.

Багато уваги польовим випробуванням та розрахунку осьових зусиль прокладання комунікацій безтраншейним способом приділено в роботах [12, 13], але жоден з авторів цих робіт не приділяє достатньої уваги статичному проколу.

Окремо виділимо дослідження можливості впровадження безтраншейних технологій у твердих породах [14] або ґрунтах 4–5-ї категорії.

Вченими, які займаються вирішенням проблеми безтраншейного прокладання підземних комунікацій з мінімальними енергозатратами, в останні роки проведено багато досліджень. Так, в роботах [2, 15] велику увагу приділено проколюванню ґрунту на невеликій відстані до 50 м. Вивчення процесу статичного проколу ґрунту та його напружень навколо робочого органу у процесі формування свердловини відображено в роботі [16].

Зону руйнування ґрунту навколо конусоциліндричних, що здійснюють прокол ґрунту, і циліндричних наконечників з кільцевидним перерізом визначали [1, 17, 18] в межах 4...6 діаметрів свердловини для конусоциліндричних наконечників, що працюють за принципом витіснення ґрунту в бокові стінки свердловини, та в межах 2 діаметрів для циліндричних наконечників з кільцевидним перерізом, що працюють за комбінованим принципом. В останньому випадку зону руйнування визначено експериментально для конкретного типу ґрунту з конкретними фізико-механічними властивостями. Для інших типів ґрунтів розмір цієї зони не відомий, що не дозволяє прогнозувати у процесі прокладання підземних комунікацій вплив зони деформування на сусідні підземні комунікаційні об'єкти.

#### Мета і постановка завдання

Метою роботи є визначення зони деформування ґрунту конусоциліндричним наконечником і тиску, що виникає на його бічній поверхні.

Відповідно до поставленої мети слід визначити залежність тиску ґрунту на бічну поверхню наконечника та встановити залежність діаметра зони пружно-пластичних деформацій до діаметра ґрунтової порожнини від співвідношення зовнішнього до внутріш-

нього діаметрів наконечника з кільцевидним перерізом у типових ґрунтових умовах.

#### Деформування ґрунту навколо конічно-циліндричного наконечника

Об'єктом даного дослідження є робочий орган з конічно-кільцевидним наконечником для статичного формування свердловини у ґрунті. Відсутність аналітичних розрахунків сил впливу тиску ґрунту від просування цього наконечника не дає можливості провести повноцінний аналіз процесу та оцінити вплив на нього параметрів робочого органу.

Опір просуванню робочого органу циліндричної форми визначається параметрами робочого органу та властивостями ущільненого ґрунту, описані авторами в [1–3].

Параметри конічно-циліндричного наконечника (рис. 1) визначаються діаметром футляра (захисних труб, в яких потім протягують комунікації), який повинен вільно затягуватись в утворену порожнину.

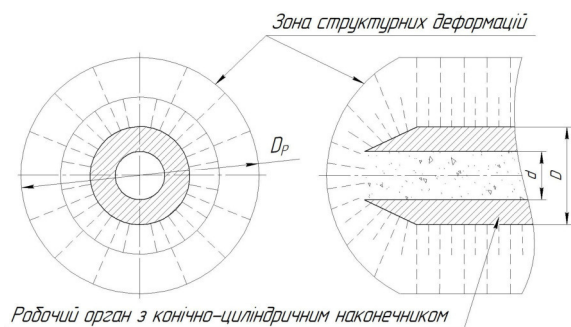


Рис. 1. Зони деформування та надмірного тиску при створенні свердловини конічноциліндричним наконечником

В умовах щільної забудови міст та великої кількості інженерних мереж, що розташовані під поверхнею, використання робочого органу з конічно-кільцевидним наконечником дозволить в практичних умовах значно підвищити ефективність безтраншейного прокладання підземних комунікацій. Збільшення діаметра свердловини при використанні комбінованого методу зменшує вплив на зростання зони тиску на прилеглі комунікації від ущільнення ґрунту.

Одним із проблемних місць, що потребують дослідження, є вплив ущільненого ґрунту від просування робочого органу на прилеглі комунікації та інші підземні споруди. Вивчення впливу на них зони деформації ґрунту дасть можливість більш якісно проектувати використання підземного простору,

знизити ризики пошкодження або руйнування комунікацій та знизити вартість робіт.

### Визначення тиску ґрунту на бічній поверхні наконечника

Розрахункова схема показана на рис.2. Відомо [17], що середній горизонтальний тиск на зовнішній конус наконечника прямопропорційний тангенсу кута  $2\beta$  при вершині конуса

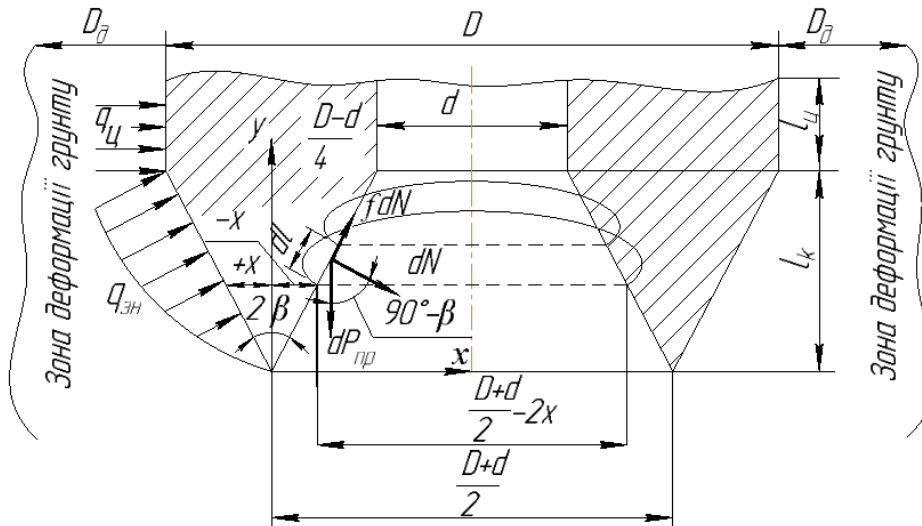


Рис. 2. Схема взаємодії кільцевого двоконусного наконечника з ґрунтом

Знайдемо  $q_{зн}^{сеп}$  шляхом інтегрування закону зміни нормального тиску (3) на бічній поверхні зовнішнього конуса

$$q_{зн}^{сеп} = \frac{4E_{гр} \sin \beta}{D-d} \int_0^{D-d} \left[ 1 - \frac{1 - \left( \frac{D+d+4x}{2D} \right)}{1 - \left( \frac{D+d}{2D} \right)^2} \right] dx =$$

$$= \frac{E_{гр} \sin \beta}{1 - \left( \frac{D+d}{2D} \right)^2} \left[ \frac{D^2 - d^2}{4D^2} + \frac{4}{3} \left( \frac{D-d}{4D} \right)^2 \right], \quad (3)$$

де  $E_{гр}$  – компресійний модуль деформації;  $D$ ,  $d$  – відповідно зовнішній і внутрішній діаметри наконечника (рис. 1).

Якщо позначити через  $\gamma = \frac{D}{d}$ , то вираз (3)

можна переписати у вигляді

$$q_{зн}^{сеп} = \frac{E_{гр} \sin \beta}{1 - \left( \frac{\gamma+1}{2\gamma} \right)^2} \left[ \frac{\gamma^2 - 1}{4\gamma^2} + \frac{4}{3} \left( \frac{\gamma-1}{4\gamma} \right)^2 \right].$$

Тоді

$$q_{зоп}^{сеп} = q_{зн}^{сеп} [\cos(90 - \beta) + f \cos \beta] = q_{ц} \operatorname{tg} 2\beta, \quad (1)$$

де  $q_{зн}^{сеп}$  – середній нормальний тиск на зовнішній конус;  $f$  – коефіцієнт тертя ґрунту по металу;  $q_{ц}$  – нормальний тиск на бокову поверхню наконечника.

Звідки

$$q_{ц} = \frac{\sin \beta + f \cos \beta}{\operatorname{tg} 2\beta} q_{зн}^{сеп}. \quad (2)$$

$$q_{ц} = \frac{E_{гр} \sin \beta}{1 - \left( \frac{\gamma+1}{2\gamma} \right)^2} \left[ \frac{\gamma^2 - 1}{4\gamma^2} + \frac{4}{3} \left( \frac{\gamma-1}{4\gamma} \right)^2 \right] \frac{\sin \beta + f \cos \beta}{\operatorname{tg} 2\beta}. \quad (4)$$

На рис. 3 приведені графіки залежності тиску ґрунту на бічну поверхню наконечника для різних ґрунтів.

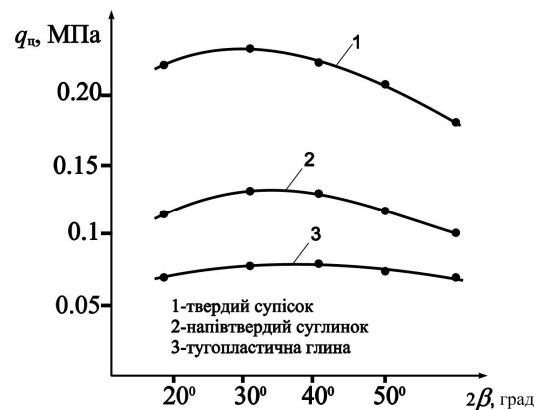


Рис. 3. Залежність тиску ґрунту на бічну поверхню наконечника від кута загострення зовнішнього конуса

Аналіз залежності (4) показав, що величина тиску  $q_{ц}$  практично не залежить від відношення  $\gamma$  зовнішнього  $D$  та внутрішнього  $d$  діаметрів. Найбільший тиск на зовнішній бічній поверхні наконечника виникає для кутів загострення конуса  $30-40^\circ$ , а найменший – для кутів  $50-60^\circ$ .

#### Розрахунок зони руйнування

Визначимо зону руйнування ґрунту циліндрично-трубчастим наконечником із зовнішнім конусом. Для цього запишемо рівняння рівності мас ґрунту до і після ущільнення його наконечником (рис. 2)

$$\left[ \frac{\pi D_p^2}{4} - \frac{\pi}{4} \left( \frac{D+d}{2} \right)^2 \right] \rho_{пр} = \frac{\pi}{4} (D_p^2 - D^2) \rho_{сер}, \quad (5)$$

де  $D_p$ ,  $D$  і  $d$  – відповідно діаметри зони руйнування ґрунту, зовнішній і внутрішній діаметри наконечника (рис. 2.4).

Якщо взяти до уваги [1], що

$$\rho_{сер} = \frac{\rho_{пр}}{1 - \frac{1}{\lambda^2}}, \quad (6)$$

де  $\rho_{сер}$ ,  $\rho_{пр}$  – відповідно середня щільність стінки ґрунтової порожнини та природна щільність ґрунту

$$\lambda = \frac{\left( \gamma_{гр} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_p}{2} \right)}{\sigma_1}, \quad (7)$$

де  $\gamma_{гр}$  – питома сила тяжіння ґрунту у природному стані;  $h$  – глибина проколу;  $c$ ,  $\varphi_0$  – коефіцієнт зчеплення та кут внутрішнього тертя ґрунту;  $\sigma_1$  – напруження на границі пружної та пружно-пластичної (зруйнованої) зон – структурна міцність ґрунту [1].

Тоді рівність (5) переписеться у наступному вигляді

$$D_p^2 - \left( \frac{D+d}{2} \right)^2 = (D_p^2 - D^2) \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - 1}. \quad (8)$$

Звідки маємо

$$D_p = \sqrt{\lambda^2 D^2 - (\lambda^2 - 1) \left( \frac{D+d}{2} \right)^2}. \quad (9)$$

Або, якщо  $\gamma = \frac{D}{d}$ ,

$$\frac{D_p}{D} = \sqrt{\lambda^2 - (\lambda^2 - 1) \left( \frac{\gamma + 1}{2\gamma} \right)^2}. \quad (10)$$

Якщо прийняти, що  $\lambda=5,4\dots 6,0$  – для твердого супіску;  $\lambda=4,3\dots 4,8$  – для напівтвердого суглинку;  $\lambda=4,0\dots 4,3$  – для тугопластичної глини [1], тоді залежність  $\frac{D_p}{D}$  від відношення діаметрів  $\gamma$  приведено на рис. 4.

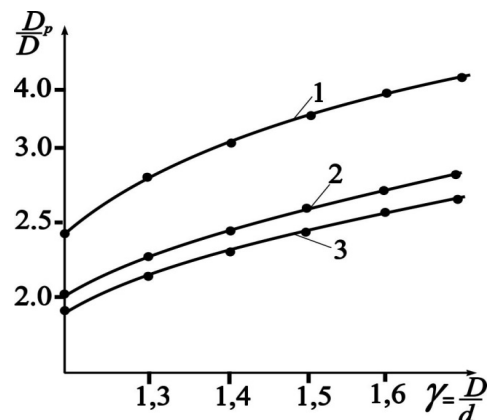


Рис. 4. Залежність відношення діаметра зони пружно-пластичних деформацій (зони руйнування) до діаметра ґрунтової порожнини від співвідношення зовнішнього до внутрішнього діаметрів наконечника з кільцевидним перерізом: 1 – твердий супісок; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – тугопластична глина

Із рисунка видно, що величина зони руйнування прямопропорційно збільшується зі збільшенням діаметра ґрунтової порожнини  $D$  та не прямопропорційно зростає із зростанням співвідношення зовнішнього та внутрішнього діаметрів наконечника. Відношення  $\frac{D_p}{D}$  знаходиться в межах:

для твердого супіску –  $\frac{D_p}{D}$  знаходиться в межах:

для твердого супіску –  $\frac{D_p}{D} = 2,46\dots 3,55$ ;

для напівтвердого суглинку –

$\frac{D_p}{D} = 2,02\dots 2,85$ ;

для тугопластичної глини –  $\frac{D_p}{D} = 1,91\dots 2,67$ .

### Висновки

Отримана теоретична залежність для визначення тиску ґрунту на бічну поверхню конусно-циліндричного наконечника від кута загострення зовнішнього конуса дозволила встановити, що величина тиску практично не залежить від відношення зовнішнього та внутрішнього діаметрів. Найбільший тиск на зовнішній бічній поверхні наконечника виникає для кутів загострення конуса 30...40°, а найменший – для кутів 50...60°.

Отримана залежність для визначення відношення діаметра зони пружно-пластичних деформацій (зони руйнування) до діаметра ґрунтової порожнини від співвідношення зовнішнього до внутрішнього діаметрів наконечника з кільцевидним перерізом дозволила встановити їх уточнюючі дані для різних типів ґрунтів: для твердого супіску 2,46...3,55; для напівтвердого суглинку – 2,02...2,85; для тугопластичної глини – 1,91...2,67.

Результати роботи можуть мати практичне значення у процесі утворення горизонтальних порожнин для безтраншейного прокладання підземних комунікацій з використанням методу статичного задавлювання у ґрунт робочого органу з конічно-циліндричним наконечником.

### 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. Вып. 103. С. 91–98.
3. Кравець С., Посмітюха О., Супонев В. Визначення еквівалентного і оптимального діаметрів конічного наконечника з виступами для проколіванню ґрунту // НІПТ ДНУЗТ. 2017. Вып. 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 Engineering: Proceedings of the 1st International Conference. New York, 2009. DOI: 10.1115/1.802922.paper30
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.paper30
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.paper6.
11. 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>
12. Najafi Mohammad, Gunnink Brett, Davis George. Details of Field Testing of Major Trenchless Technology Methods for Road Crossings // Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Conference, Baosong Ma, ASME, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper4.
13. Chehab A. G., Moor I. D. One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations. Ottawa Geo, 2007. P. 1140-1154.
14. Guojun Wen, Xiaoming Wu, Han Chen. Trenchless Pipe-Paving in Complex Hard Stratum by Directional Drilling Technology // Geological Engineering: Proceedings of the 1st International Baosong Ma, ASME. New York, 2009. doi: 10.1115/1.802922.paper26
15. Балесный С. Особенности процессов статического прокола ґрунта. *Вісник ХНАДУ*. 2017. Вып. 76. С. 138–141.
16. 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.
17. Ешуткин Д. Н., Смирнов Ю.М., Цой В.И., Исаев В.Л. Высокопроизводительные гидронеуматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций / состав. М. Стройиздат, 1990. 171 с.
18. Полтавцев И. С., Орлов В.Б., Ляхович И.Ф. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства. – Киев: «Будівельник», 1973. - 156 с.

## 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., Posmituha, O., Suponnev, V. (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. 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.
12. 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.
13. Chehab, A. G., Moor, I. D. (2007). One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations. OttawaGeo, 1140–1154.
14. 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.
15. Balesny, S. (2017). Features of the process of static puncture of the soil. VKHADU, 76, 138–141.
16. 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.
17. Sushutkin, D. N., Smirnov, Yu. M., Tsoi, V. I., Isayev, V. L. (1990). High-performance hydropneumatic shock machines for laying engineering communications. Moscow: Stroyizdat, 171.
18. Poltavcev I. S., Orlov V.B., Полтавцев И. С., Lzhovich I.F. (1973). Special digging machines and mechanisms for urban construction. -Kiev: «Dudivelnik», - 156 c.

**Супонєв Володимир Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доц. кафедри будівельних і дорожніх машин, тел. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com.

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

**Determining the size of the zone of soil deformation by a conical-cylindrical tip and pressure on the lateral surface**  
**Suponev V.M., PhD, Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* When forming a horizontal well for trenchless laying of engineering communications by punching the soil with a conical-cylindrical tip, one part of it enters the middle of the pipe for subsequent removal outside, and the other part is compacted on the sides, which reduces the total volume of soil excavation. This way of creating well is called combined. **Problem.** The radial compaction of the soil causes its deformation, which can be the reason for displacement and damage of the adjacent communications or other underground structures. Therefore, determination the area of its distribution in the array is essential. **Goal.** The aim of the study is to define the pressure on lateral surface of cone-cylindrical tip and crumple zones while forcing them to the ground. **Methodology** for determining ground deformation zone is based on a mathematical calculation of limit stresses in soil and knowledge about the mechanics of granular opportunities. The analysis of the technical literature showed that the

zone of elastic-plastic deformation of the soil around the conical-cylindrical tip, which performs puncture of the soil and its displacement on the sides is within the range of 4 ... 6 well's diameter, and for cylindrical tips with circular cross-sections that work by combination principle, it is within 2 diameters. In the latter case, the soil destruction zone is experimentally established for a particular type of soil with specific physical and mechanical properties. For the other types of soils, the size of this zone is not known, which does not allow to predict the influence of the zone of deformation on neighboring underground communications when laying underground communications.

**Results.** The work provides for the theoretical calculations of the size of the zone of soil deformation by a conical-cylindrical tip and pressure on its lateral surface, depending on its parameters and properties of the soil, which is being developed. An analysis of the obtained dependence of the soil pressure on the lateral surface of the tip from the angle of the outer cone sharpening showed that the pressure value is practically independent of the ratio of the outer diameter to the internal one. **Originality.** Theoretical originality of obtained dependences makes possible to get a complete picture of the process of forcing ground tip cone-cylindrical shape. The greatest pressure on the outer surface of the tip occurs for the angles of cone sharpening of 30 ... 40 °, the smallest – for angles 50 ... 60 °. The calculation of the zone of destruction of soil by a tube tip with an external cone allowed establishing that the size of the destruction zone increases with the increase in the ratio of the external and internal diameters of the tip. So for the sand-clay, this ratio will be equal to 2.46 ... 3.55; for the semi-hard clay this ratio is 2.02 ... 2.85 and for the clay it is 1.91 ... 2.67. **Practical value.** The obtained specifications of the size of the zone of soil deformation, during the formation of the well by static crushing of the conical-cylindrical tip into the soil, can be recommended in the design of engineering networks and trenchless laying of underground communications.

**Key words:** trenchless technologies, soil propagation, combined method, engineering communications, horizontal well.

Vladimir Suponyev<sup>1</sup>, PhD., Assoc. Prof., tel.: +38 050-30-199-58, e-mail: v-suponev@ukr.net

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho street, Kharkiv, 61002, Ukraine,

**Определение величины зоны деформации  
грунта конусно-цилиндрическим  
наконечником и давления на боковой  
поверхности**

**Аннотация.** При формировании горизонтальной скважины для бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций путём продавливания грунта конусно-цилиндрическим наконечником часть его попадает в середину трубы для последующего удаления наружу, а часть уплотняется по сторонам, что уменьшает общий объём экскавации грунта. Такой способ создания скважины называют комбинированным. Радиальное уплотнение грунта вызывает его деформацию, что может вызвать смещение или повреждение прилегающих коммуникаций или других подземных сооружений. Поэтому важным является вопрос по определению размера его распространения в массиве.

В работе приводятся расчёты величины зоны деформации грунта конусно-цилиндрическим наконечником и давления на его боковую поверхность в зависимости от его параметров и свойств грунта, который разрабатывается.

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

Супонев Владимир Николаевич<sup>1</sup>, к.т.н., доц. каф. строительных и дорожных машин, тел. +38 050-30-199-58, e-mail: v-suponev@ukr.net

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина, Харьков, 61002, ул. Ярослава Мудрого 25.