

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 624.132.3

С. В. КРАВЕЦЬ¹, О. П. ПОСМІТЮХА^{2*}, В. М. СУПОНЄВ³

¹Каф. «Будівельні, дорожні, меліоративні, сільськогосподарські машини і обладнання», Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Новака, 77, Рівне, Україна, 33028, тел. +38 (0362) 63 55 80, ел. пошта s.v.kravets@nuwm.edu.ua, ORCID 0000-0003-4063-1942

^{2*}Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 150 95 00, ел. пошта AleksandrP@3g.ua, ORCID 0000-0002-9701-3873

³Каф. «Будівельні і дорожні машини», Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Тимурівців, 3, Харків, Україна, 61002, тел. +38 (057) 738 77 97, ел. пошта v-suponev@ukr.net, ORCID 0000-0001-7404-6691

ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ТА ОПТИМАЛЬНОГО ДІАМЕТРІВ КОНІЧНО-ЦИЛІНДРИЧНОГО НАКОНЕЧНИКА З ВИСТУПАМИ ДЛЯ ПРОКОЛЮВАННЯ ҐРУНТУ

Мета. Будівництво нових залізничних колій, об'єктів інфраструктури, ремонт та заміна існуючих підземних комунікацій пов'язані з розробкою горизонтальних порожнин у ґрунті безтраншейним способом. Статичний прокол ґрунту робочим органом із конусним наконечником є найбільш поширеним методом у практиці формування піонерної свердловини при безтраншейному прокладанні розподільних комунікацій. Однак, у процесі виконання проектних розрахунків отримання пілотної свердловини та подальшого її розширення до необхідних розмірів гостро стоїть питання способів розрахунків робочих зусиль. Існуючі методики спираються на емпіричні залежності та експериментальні коефіцієнти, що зменшують точність підрахунків та збільшують вартість робіт. Пропонується підвищити точність та спростити процес визначення зусилля проколювання ґрунту конічним наконечником статичним способом. **Методика.** В роботі пропонується визначення еквівалентного діаметра конічного наконечника, що зумовлений діаметром свердловини, та теоретичний спосіб розрахунку оптимальних параметрів ґрунтопроколюючої головки з використанням відомих параметрів: типу ґрунту та його вологості, що визначаються за Державними будівельними нормами (ДБН). **Результати.** Отримані теоретичні дослідження можуть бути використані з метою підвищення ефективності робочого обладнання для проколу ґрунту статичним методом при безтраншейному прокладанні підземних комунікацій. **Наукова новизна.** Авторами встановлена залежність еквівалентного діаметра основи конуса від діаметра циліндричної частини наконечника проколюючої головки, яка дозволяє усунути з процесу статичного проколювання сили тертя на бічній циліндричній поверхні наконечника. **Практична значимість.** Теоретичні розрахунки для визначення оптимальних діаметрів конічного наконечника з виступами для проколювання ґрунту дозволили встановити: якщо діаметр конуса більший максимально-граничного діаметра свердловини (ґрунтової порожнини), то лобовий опір конічно-циліндричного наконечника зростає інтенсивніше за опір циліндричної частини наконечника. Максимальне зниження зусилля проколювання має місце для ґрунтової порожнини, діаметр якої у 2 рази менший за максимальний граничний діаметр. При проведенні розрахунків із вибору розмірів робочих органів для проколювання ґрунту вихідними даними є тип ґрунту та його характеристики за ДБН, а також вологість ґрунту, визначена традиційними способами.

Ключові слова: теоретична модель; безтраншейна технологія; статичний прокол ґрунту; інженерні комунікації; проколююча головка; горизонтальна свердловина

Вступ

Загальна зношеність комунального господарства та збільшення енергоспоживання у великих містах змушують комунальників модернізувати свої старі мережі й створювати нові. Виконання монтажних робіт в умовах сучасно-

го мегаполісу вимагає широкого використання безтраншейних технологій, які широко представлені на ринку послуг. Основним недоліком цих технологій є їхня вартість, що впливає з високої вартості бурового обладнання та собівартості виконання робіт. З різноманіття представлених на ринку методів отримання техно-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

логічних порожнин у ґрунті найбільш простим та дешевим є статичний прокол. Його використовують для безтраншейного прокладання розподільних інженерних мереж під дорогами або іншими завадами руху на трасі. Для створення горизонтальних свердловин широко використовується метод статичного проколу ґрунту. Простота обладнання, мінімальні експлуатаційні витрати та простота експлуатації сприяють швидкому поширенню даного методу. Метод полягає в силовому проникненні крізь ґрунт проколюючого робочого органу, параметри якого визначають його опір, який, у свою чергу, впливає на параметри приводу силової установки. Таким чином, визначення еквівалентного діаметра конічного наконечника за діаметром свердловини та отримання теоретичного способу розрахунку оптимальних параметрів ґрунтопроколюючої головки є актуальною задачею.

Мета

Метою роботи є теоретичне визначення еквівалентного діаметра конічного наконечника залежно від діаметра свердловини та способу розрахунку оптимальних параметрів ґрунтопроколюючої головки.

Методика

Загальні закономірності процесів проколу ґрунту та формування горизонтально спрямованої свердловин викладені в роботах [4, 6, 11]. Результати досліджень впливу конструктивних параметрів конусного робочого органу на процес проколу ґрунту та пошук раціонального кута конуса викладено в роботах [3, 7, 10, 12, 13, 14, 17–20, 22]. Зміни якостей ґрунту в навколишньому просторі свердловини під час статичного проколу ґрунту та їх вплив на процес формування лідерної свердловини та її розширення були розглянуті в роботах [2, 11, 15, 16, 21]. Досліджень з визначення еквівалентного діаметра конічно-циліндричного наконечника залежно від діаметра свердловини та теоретичний спосіб розрахунку оптимальних параметрів ґрунтопроколюючої головки не виявлено.

Очевидно, що сумарний опір проколюванню складається з опорів конічної і циліндричної

частин наконечника. Згідно з попередньої роботою авторів [9] теоретично визначений опір заглибленню конічно-циліндричного наконечника в ґрунт дорівнює:

$$P_{\Sigma} = \frac{\pi E_{ep} D^2}{8} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + 0,1 \pi \lambda f D \sigma_1 + \pi f D (l_{\text{ц}} - 0,2) q_3, \quad (1)$$

де $E_{ep} = \frac{(1 + \omega) \rho_{me}}{c_{\kappa} \cdot \rho_{np}}$ – компресійний модуль де-

формації ґрунту; ω – природна вологість ґрунту; ρ_{me} – щільність твердого ґрунту (щільність ґрунту за умови, що в ньому відсутні пори); ρ_{np} – щільність ґрунту в природному стані; c_{κ} – коефіцієнт компресії ґрунту; D – діаметр конусного наконечника; f – коефіцієнт тертя ґрунту по конусу; 2β – кут при вершині конуса; $\lambda = \frac{D_p}{D}$ – відношення діаметра зони пружно-

пластичних деформацій D_p до діаметра основи конусного наконечника D [10]; σ_1 – напруження на границі пружної і пластичної зон, яке визначено було С. В. Кравцем та В. В. Кованько [3]; $l_{\text{ц}}$ – довжина циліндричної частини проколюючої головки; q_3 – залишковий тиск ґрунту на циліндричну частину наконечника.

Залежність сумарного опору заглибленню від діаметра наконечника на глибині 1,5 м при $l_{\text{ц}} = 0,5$ м та $q_3 = 0,025$ МПа приведена на рис. 1.

Щоб усунути з процесу статичного проколювання сили тертя на бічні циліндричні поверхні наконечника, необхідно діаметр головної конічної частини D_{κ} виконати більшим за діаметр циліндричної $D_{\text{ц}}$ частини проколюючої головки. Визначимо еквівалентний діаметр конічної частини D_e з умови рівності опорів для випадків:

- 1) $D_{\kappa} > D_{\text{ц}}$ – відсутні сили тертя на бічній поверхні наконечника;
- 2) $D_{\kappa} = D_{\text{ц}} = D_e$ – присутні сили тертя на бічній поверхні наконечника.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

У першому випадку ($D_k > D_u$) опір проколюванню P_{np} дорівнює:

$$P_{np} = \frac{8\pi E_{zp}}{D^2} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) \int_0^{D/2} x^3 dx = \frac{\pi E_{zp} D^2}{8} (1 + f \operatorname{ctg} \beta); \quad (2)$$

$$\vec{P}_{np} = \frac{\pi E_{zp} D_e^2}{8} (1 + f \operatorname{ctg} \beta), \quad (3)$$

де D_e – еквівалентний діаметр.

У другому випадку ($D_k = D_u = D_e$) сумарний опір проколюванню обчислюється за формулою (1),

де $\lambda = \frac{D_p}{D_e(D)}$ – відношення діаметра зони

пружно-пластичних деформацій до еквівалентного діаметра (діаметра конусного наконечника) [1].

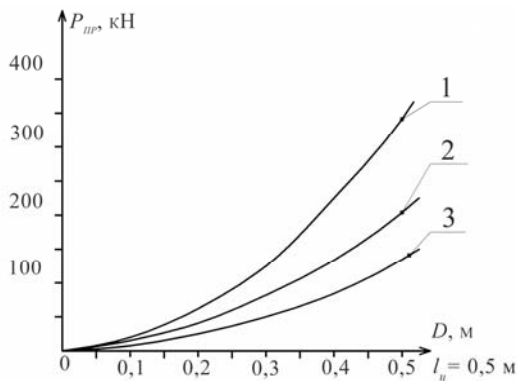


Рис. 1. Графіки залежності сумарного опору переміщенню конічно-циліндричного наконечника від діаметра на глибині 1,5 м: 1 – твердого супіску; 2 – напівтвердого суглинку; 3 – тугопластичної глини

Fig. 1. Dependency graph of the total resistance to the displacement of a cone-cylinder tip on a diameter at 1.5 m depth: 1 – sandy clay; 2 – semi-solid loam; 3 – stiff clay

З умови рівності $\vec{P}_{np} = P_{\Sigma}$ визначимо еквівалентний за опором діаметр D_e :

$$D_e = D \sqrt{1 + 8f \frac{0,1\lambda\sigma_1 + (l_u - 0,2)q_3}{DE_{zp}(1 + \operatorname{ctg}\beta)}}. \quad (4)$$

Залежність еквівалентного діаметра основи конуса від діаметра циліндричної частини наконечника при $l_u = 0,5$ м та $q_3 = 0,025$ МПа для різних ґрунтів показана на рис. 2.

Якщо діаметр конусної частини наконечника $D \leq D_k \leq D_e$, то опір проколюванню буде знижений (у відсотках) за наступною залежністю:

$$\Delta P_{np} = \frac{P_{\Sigma} - \vec{P}_{npD_k}}{P_{\Sigma}} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{\vec{P}_{npD_k}}{P_{\Sigma}} \right) \cdot 100\%. \quad (5)$$

Визначимо мінімальний діаметр D_k^{\min} , який усуває дію пружних деформацій на циліндричну частину наконечника:

$$D_k^{\min} = D + \Delta D. \quad (6)$$

На границі пружної і пластичної зони діє закон Гука [1, с. 247–250]:

$$\sigma_1 = E_V \varepsilon, \quad (7)$$

де E_V – модуль пружності при об'ємному стисканні ґрунту (модуль об'ємної деформації); ε – відносна деформація ($\varepsilon = \frac{\Delta D}{D}$).

Модуль об'ємної деформації визначається через компресійний модуль ґрунту E_{zp} [1]:

$$E_V = \frac{(1 + \omega)\rho_{m6}}{3c_k \rho_{np}} (1 + 2\zeta), \quad (8)$$

де ζ – коефіцієнт бічного тиску визначається за формулою Г. І. Покровського [4, 11]:

$$\zeta = 1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0 - 1,52c/q_{kp}, \quad (9)$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту; c – коефіцієнт зчеплення ґрунту; q_{kp} – критичний тиск ґрунту за несучою спроможністю.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Тоді

$$\Delta D = \frac{\sigma_1}{E_V} D. \quad (10)$$

Для твердого супіску $\Delta D = \frac{0,08}{0,95} D = 0,084D$

(при $E_V = 0,95$, $h = 1,5$ м).

Для напівтвердого суглинку

$$\Delta D = \frac{0,14}{0,64} D = 0,22D \quad (\text{при } E_V = 0,64,$$

$h = 1,5$ м).

Для тугопластичної глини

$$\Delta D = \frac{0,148}{0,477} D = 0,31D \quad (\text{при } E_V = 0,477,$$

$h = 1,5$ м).

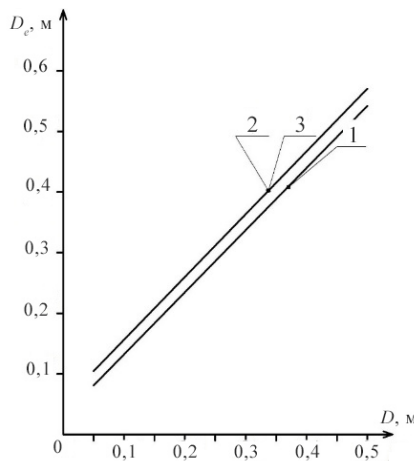


Рис. 2. Графіки залежності еквівалентного діаметра конічного наконечника від діаметра свердловини:

1 – для твердого супіску; 2, 3 – для напівтвердого суглинку і тугопластичної глини

Fig. 2. Dependency graph of the equivalent diameter of the conical tip on the hole diameter:

1 – sandy clay; 2, 3 – semi-solid loam and stiff clay

Таким чином,

$$D_{\kappa}^{\min} = D + \frac{\sigma_1}{E_V} D = D \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V} \right). \quad (11)$$

Якщо проколювання здійснюється на глибині $h = 1,5$ м, то для твердого супіску

$D_{\kappa}^{\min} = 1,08D$, для напівтвердого суглинку

$D_{\kappa}^{\min} = 1,22D$, для тугопластичної глини

$D_{\kappa}^{\min} = 1,31D$. Якщо $D_{\kappa} > D_{\kappa}^{\min}$, ґрунт на границі пружної і пластичної зон деформується за рахунок пружно-пластичних зсувів (руйнується).

Зниження опору проколюванню при мінімальному діаметрі D_{κ}^{\min} для різних ґрунтів приведено на рис. 3

Результати

З рис. 3 видно, що максимальне зниження опору проколюванню має місце: для твердого супіску при діаметрах $D = 0,2 \dots 0,25$ м, для напівтвердого суглинку при діаметрах $D = 0,13 \dots 0,17$ м, для тугопластичної глини при діаметрах $D = 0,10 \dots 0,12$ м. Тому ефективність застосування конусних наконечників з виступами залежить від типу ґрунту, його консистенції, вологості і діаметра проколювання D . Визначимо цей діаметр:

$$\frac{\partial \Delta P_{np}}{\partial D} = 0. \quad (12)$$

Звідки оптимальний діаметр

$$D_{opt} = 4 \frac{0,1f\lambda\sigma_1 + f(l_y - 0,2)q_3}{\left[\left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 - 1 \right] E_{zp} (1 + fctg\beta)}. \quad (13)$$

Визначимо максимальний граничний діаметр свердловини (ґрунтової порожнини) D_{max} , при якому конічно-циліндричний наконечник з боковими виступами $D_{\kappa} > D$ вже не дозволяє знизити зусилля проколюванню. Для цього прирівняємо зусилля проколювання наконечником з виступами ($D_{\kappa}^{\min} > D$) і без виступів ($D_{\kappa} = D$):

$$\begin{aligned} \frac{\pi D^2 \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 E_{zp}}{8} (1 + fctg\beta) = \\ = \frac{\pi D^2}{8} E_{zp} (1 + fctg\beta) + \\ + 0,1\pi D f \sigma_1 + \pi D f (l_y - 0,2) q_3. \quad (14) \end{aligned}$$

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

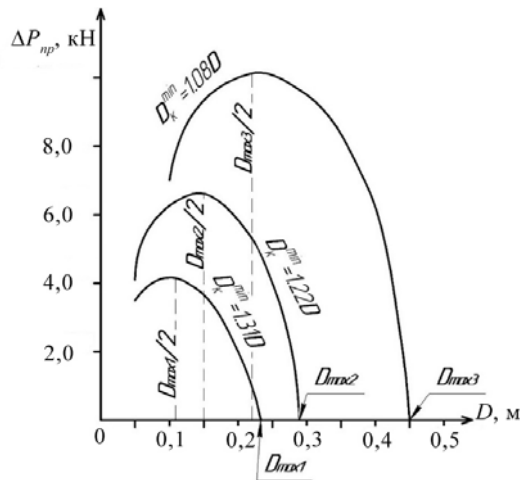


Рис. 3. Графіки залежності зниження опору проколюванню конусного наконечника з виступами від діаметра свердловини: 1 – для твердого супіску; 2 – для напівтвердого суглинку; 3 – для тугопластичної глини.

Fig. 3. Dependency graph the reduction of the resistance to broaching of the conical tip with spurs on the hole diameter: 1 – sandy clay; 2 – semi-solid loam; 3 – stiff clay

Звідки

$$D_{\max} = 8f \times \frac{0,1\lambda\sigma_1 + (l_c - 0,2)q_3}{\left[\left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 - 1 \right] E_{sp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta)}. \quad (15)$$

Тобто

$$D_{\text{опт}} = \frac{D_{\max}}{2}. \quad (16)$$

Розрахунками визначено: для твердого супіску $D_{\max} \geq 0,444$ м; для напівтвердого суглинку $D_{\max} \geq 0,295$ м; для тугопластичної глини $D_{\max} \geq 0,236$ м. Це означає, що для $D > D_{\max}$ лобовий опір конічно-циліндричного наконечника з діаметром в основі конуса $D_{\kappa}^{\min} > D_{\max}$ зростає інтенсивніше за опір циліндричної частини наконечника. Максимальне зниження зу-

силля проколювання має місце для ґрунтової порожнини діаметр якої у 2 рази менший за максимальний граничний діаметр D_{\max} . Якщо діаметр ґрунтового отвору більший за D_{\max} , то необхідно утворювати не способом проколу, а способом протискування.

Наукова новизна та практична значимість

Установлена залежність еквівалентного діаметра основи конуса від діаметра циліндричної частини наконечника проколюючої головки, яка дозволяє уникнути в процесі статичного проколювання сил тертя на бічній циліндричній поверхні наконечника. Так, наприклад, при діаметрі циліндричної частини 0,3 м – діаметр основи конуса повинен бути: для твердого супіску – 0,32 м; для напівтвердого суглинку і тугопластичної глини 0,37 – 0,39 м.

Результати отриманих теоретичних досліджень можуть бути використані для підвищення ефективності робочого обладнання для проколу ґрунту статичним методом при безтраншейному прокладанні підземних комунікацій.

Висновок

Отримані теоретичні розрахунки для визначення оптимальних діаметрів конічного наконечника з виступами для проколювання ґрунту дозволили встановити, що якщо діаметр конуса більше максимального граничного діаметра свердловини (ґрунтової порожнини), то лобовий опір конічно-циліндричного наконечника зростає інтенсивніше за опір циліндричної частини наконечника і тоді ґрунтову порожнину необхідно утворювати способом протискування. Максимальне зниження зусилля проколювання має місце для ґрунтової порожнини, діаметр якої у 2 рази менший за максимальний граничний діаметр.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, Є. М. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти : підручник / С. М. Бабич, Ю. О. Крусь. – Рівне : Вид-во РДТУ, 2001. – 367 с.
2. Вялов, С. С. Реологические основы механики грунтов : учеб. пособие для строит. вузов / С. С. Вялов. – Москва : Высш. шк., 1978. – 447 с.
3. Высокопроизводительные гидropневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций / Д. Н. Ешуткин, Ю. П. Смирнов, В. И. Цой, В. Л. Исаев ; под ред. Д. Н. Ешуткина. – Москва : Стройиздат, 1990. – 176 с.
4. Гольдштейн, М. Н. Механические свойства грунтов: напряженно-деформированные характеристики грунтов / М. Н. Гольдштейн. – Москва : Стройиздат, 1979. – 304 с.
5. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування [Електронний ресурс]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 161 с. – Режим доступу: http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_v21_10_2009/1-1-0-319. – Назва з екрана. – Перевірено : 19.07.2017.
6. Дьяков, В. П. Усилие вертикального резания почвы / В. П. Дьяков // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. – 1987. – № 4. – С. 34–36.
7. Земсков, В. М. Анализ исследования лобового сопротивления при бестраншейной прокладке трубопроводов методом прокола / В. М. Земсков, А. В. Судаков // Изв. ТулГУ. Серия: «Подъёмно-транспортные машины и оборудование» : сб. науч. тр. – Тула, 2005. – Вып. 6. – С. 35–38.
8. Кованько, В. В. Прокладання лінійно-протяжних об'єктів на новій технічній основі / В. В. Кованько, О. В. Кованько // Вісн. інженерної акад. України. – 2008. – № 3/4. – С. 158–162.
9. Кравець, С. В. Аналітичний спосіб визначення опору занурення конусного наконечника в ґрунт / С. В. Кравець, О. П. Посмітюха, В. Н. Супонев // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование : сб. науч. тр. / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепро, 2017. – Вып. 103. – С. 91–98.
10. Кравець, С. В. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземно рухомих пристроїв : монографія / С. В. Кравець, В. В. Кованько, О. П. Лук'янчук. – Рівне : НУВГП, 2015. – 319 с.
11. Кравець, С. В. Теорія руйнування робочих середовищ : навч. посіб. / С. В. Кравець. – Рівне : НУВГП, 2008. – 124 с.
12. Михельсон, И. С. Определение напряжений в грунте при внедрении рабочего инструмента бестраншейной прокладывающей машины / И. С. Михельсон // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. – Саратов, 2011. – Вып. 1. – С. 80–84.
13. Полтавцев, И. С. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства / И. С. Полтавцев, В. Б. Орлов, И. Ф. Ляхович. – Киев : Будівельник, 1977. – 136 с.
14. Ромакин, Н. Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н. Е. Ромакин, Н. В. Малкова // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 10. – С. 35–37.
15. Рубинштейн, А. Л. Грунтоведение, основания и фундаменты : учеб. пособие для вузов / А. Л. Рубинштейн. – Москва : Сельхозгиз, 1961. – 312 с.
16. Супонев, В. Н. Исследование процесса изменения состояния грунта вокруг горизонтальной скважины после её формирования методом статического прокола грунта / В. Н. Супонев, С. Л. Хачатурян, В. И. Олексин // Вестн. Харьков. нац. автомоб.-дор. ун-та : сб. науч. тр. / Харьков. нац. автомоб.-дор. ун-т, Сев.-Вост. науч. центр трансп. акад. Украины. – Харьков, 2016. – Вып. 73. – С. 196–202.
17. Тимошенко, В. К. Определение формы наконечника, обеспечивающей минимальное усилие прокола / В. К. Тимошенко // Строительство трубопроводов. – 1969. – № 3. – С. 18–20.
18. Allouche, E. N. State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations / E. N. Allouche, S. T. Ariaratnam // Pipelines Division Specialty Conference (04.08–07.08.2002). – Cleveland, Ohio, United States, 2002. doi: 10.1061/40641(2002)55.
19. Cohen, A. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling / A. Cohen, S. T. Ariaratnam // Pipelines 2017: Planning and Design (06.08–09.08.2017). – Phoenix, Arizona, 2017. – P. 553–563. doi: 10.1061/9780784480878.050.
20. ICTPP 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications / Edited by Mohammad Najafi and Baosong Ma. – Shanghai, China, 2009. – 2137 p.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

21. Najafi, M. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods / Mohammad Najafi. – [s. l.], 2012. – 608 p.
22. Trenchless technology underground pipes / by Zhao Jun Ling Bian. – Machinery Industry Press. – [s. l.], 2014.

С. В. КРАВЕЦ¹, А. П. ПОСМИТЮХА^{2*}, В. Н. СУПОНЕВ³

¹Каф. «Строительные, дорожные, мелиоративные, сельскохозяйственные машины и оборудование», Национальный университет водного хозяйства и природопользования, ул. Новака, 77, Ровно, Украина, 33028, тел. +38 (0362) 63 55 80, эл. почта s.v.kravets@nuwm.edu.ua, ORCID 0000-0003-4063-1942

^{2*}Каф. «Прикладная механика и материаловедение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днипро, Украина, 49010, тел. + 38 (066) 150 95 00, эл. почта AleksandrP@3g.ua, ORCID 0000-0002-9701-3873

³Каф. «Строительные и дорожные машины», Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Тимуровцев, 3, Харьков, Украина, 61002, тел. + 38 (057) 738 77 97, эл. почта v-suponev@ukr.net, ORCID 0000-0001-7404-6691

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОГО И ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРОВ КОНИЧЕСКИ-ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО НАКОНЕЧНИКА С ВЫСТУПАМИ ДЛЯ ПРОКАЛЫВАНИЯ ПОЧВЫ

Цель. Строительство новых железнодорожных путей, объектов инфраструктуры, ремонт и замена существующих подземных коммуникаций связаны с разработкой горизонтальных полостей в почве бестраншейным способом. Статичный прокол почвы рабочим органом с конусным наконечником является наиболее распространенным методом в практике формирования лидерной скважины при бестраншейной прокладке распределительных коммуникаций. Однако, в процессе выполнения проектных расчетов получения пилотной скважины и дальнейшего ее расширения к необходимым размерам остро стоит вопрос способов расчетов рабочих усилий. Существующие методики базируются на эмпирических зависимостях и экспериментальных коэффициентах, которые уменьшают точность подсчетов и увеличивают стоимость работ. Предлагается повысить точность и упростить процесс определения усилия прокалывания почвы коническим наконечником статичным способом **Методика**. В работе предлагается определение эквивалентного диаметра конического наконечника, который обусловлен диаметром скважины, и теоретический способ расчета оптимальных параметров грунтопрокалывающей головки с использованием известных параметров: типа почвы и ее влажности, которые определяются Державними будівельними нормами (ДБН). **Результаты.** Полученные теоретические исследования могут быть использованы с целью повышения эффективности рабочего оборудования для прокола почвы статичным методом при бестраншейной прокладке подземных коммуникаций. **Научная новизна.** Авторами установлена зависимость эквивалентного диаметра основы конуса от диаметра цилиндрической части наконечника прокалывающей головки, которая позволяет устранить из процесса статичного прокалывания силы трения на боковой цилиндрической поверхности наконечника. **Практическая значимость.** Теоретические расчеты для определения оптимальных диаметров конического наконечника с выступами для прокалывания почвы позволили установить, что если диаметр конуса больше максимально-предельного диаметра скважины (грунтовой полости), то лобовое сопротивление конически-цилиндрического наконечника растет интенсивнее сопротивления цилиндрической части наконечника. Максимальное снижение усилия прокалывания имеет место для грунтовой полости, диаметр которой в 2 раза меньше максимально-предельного диаметра. При проведении расчетов по выбору размеров рабочих органов для прокалывания почвы исходными данными являются тип почвы и его характеристики по ДБН, а также влажность почвы, определенная традиционными способами.

Ключевые слова: теоретическая модель; бестраншейная технология; статический прокол почвы; инженерные коммуникации; прокалывающая головка; горизонтальная скважина

S. V. KRAVETS¹, O. P. POSMITJUKHA^{2*}, V. M. SUPONYEV³

¹Dep. «Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment», National University of Water and Environmental Engineering, Nowak St., 77, Rivne, Ukraine, 33028, tel. +38 (0362) 63 55 80, e-mail s.v.kravets@nuwm.edu.ua, ORCID 0000-0003-4063-1942

^{2*}Dep. «Applied Mechanics and Material Science», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipro, Ukraine, 49600, tel. +38 (066) 150 95 00, e-mail AleksandrP@3g.ua, ORCID 0000-0002-9701-3873

³Dep. «Build and Travelling Machines», Kharkiv National Automobile and Highway University, Tymurivtsi St., 3, Kharkiv, Ukraine, 61002, tel. +38 (057) 738 77 97, e-mail v-suponev@ukr.net, ORCID 0000-0001-7404-6691

DETERMINING OF THE EQUIVALENT AND OPTIMUM DIAMETERS OF CONE-CYLINDER TIP WITH SOIL BROACHING SPURS

Purpose. Building of new railway tracks and facilities, repair and replacement of existent underground utilities and communications is related to the receipt of horizontal cavities in soil by trenchless method. A static soil broaching with a working body with cone tip is the most widespread method in practice of forming a pilot hole at the trenchless laying of distributive communications. However, in the process of implementation of project calculations, receipt of pilot hole and subsequent expansion to the necessary sizes, there is a question of workings effort calculation methods. Existent methods are based on empiric dependences and experimental coefficients which diminish exactness of calculations and increase the cost of works. **Methodology.** The work proposes the dependence for determination of equivalent diameter of cone tip depending on the hole diameter and theoretical method for calculation of optimum parameters of soil broaching head using the well-known parameters: type of soil and its humidity, that determined by the State Construction Regulations (DBN). **Findings.** The results of the theoretical studies can be used to increase the efficiency of the working equipment for soil broaching by static method during trenchless laying of underground utilities and communications. **Originality.** The authors establish the dependence of the equivalent diameter of the cone base on the diameter of the cylindrical part of the broaching head, which allows for removal of the frictional force from the static broaching on the lateral cylindrical surface of the tip. **Practical value.** The obtained theoretical calculations for determining the optimal diameters of the cone tip with soil broaching spurs made it possible to establish that if the diameter of the cone is greater than the maximum diameter of the hole (soil cavity), then the frontal resistance of the cone-cylinder tip increases more intensively than the resistance of the cylindrical part of the tip. The maximum reduction in the broaching force takes place for a soil cavity whose diameter is 2 times smaller than the maximum limit diameter. When conducting the calculations regarding the choice of the size of working bodies for soil broaching, the source data include the type of soil, and its characteristics by DBN, as well as the moisture content of the soil determined by traditional methods.

Keywords: analytical model; trenchless technology; static soil broaching; utilities and communications; broaching head; horizontal holes

REFERENCES

1. Babych, Y. M., & Krus, Y. O. (2001). *Mekhanika gruntiv, osnovy ta fundamenty* [Manual]. Rivne: National University of Water and Environmental Engineering.
2. Vyalov, S. S. (1978). *Reologicheskiye osnovy mekhaniki gruntov* [Manual for build institutes of higher]. Moscow: Vysshaya shkola.
3. Yeshutkin, D. N., Smirnov, Y. P., Tsoy, V. I., & Isaev, V. L. (1990). *Vysokoproizvoditelnyye gidropnevmaticheskiye udarnyye mashiny dlya prokladki inzhenernykh kommunikatsiy*. Moscow: Stroizdat.
4. Goldshteyn, M. N. (1979). *Mekhanicheskiye svoystva gruntov: napryazhenno-deformirovannyye kharakteristiki gruntov*. Moscow: Stroizdat.
5. *Osnovy ta fundamenty sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia, DBN V.2.1-10-2009* (2009). Retrieved from http://dbn.at.ua/load/normativy/dbn/dbn_v21_10_2009/1-1-0-319
6. Dyakov, V. P. (1987). Usiliye vertikalnogo rezaniya pochvy. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva*, 4, 34-36.
7. Zemskov, V. M., & Sudakov, A. V. (2005). Analiz issledovaniya lobovogo soprotivleniya pri bestransheyonnoy prokladke truboprovodov metodom prokola. *Izvestiya TulGU, Seriya Podemno-transportnyye mashiny i oborudovaniye*, 6, 35-38.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

8. Kovanko, V. V., & Kovanko, O. V. (2008). Prokladannia liniino-protiiazhnykh ob'ektiv na novii tekhnichnii osnovi. *Bulletin of Engineering Academy of Ukraine*, 158 (3-4), 158-162.
9. Kravets, S. V., Posmitjukha, O. P., & Suponyev, V. M. (2017). Analytical method for determining resistance immersing tapered tip in soil. *Construction, Material Science, Mechanical Engineering. Series Lifting-transport, construction and road mashines and equipment*, 103, 91-98.
10. Kravets, S. V., Kovanko, V. V., & Lukianchuk, O. P. (2015). *Naukovi osnovy stvorennia zemleryino-yarusnykh mashyn i pidzemno rukhomykh prystroiv* [Monograph]. Rivne: National University of Water and Environmental Engineering.
11. Kravets, S. V. (2008). *Teoriia ruinvannia robochykh seredovyshch*. Rivne: National University of Water and Environmental Engineering.
12. Mikhelson, I. S. (2011). The definition of pressure in the ground at introduction of trenchless pinning machine working tool. *Vestnik Saratov State Technical University*, 1 (52), 80-83.
13. Poltavtsev, I. S., Orlov, V. B., & Lyakhovich, I. F. (1977). *Spetsialnyye zemleroynyye mashyny i mekhanizmy dlya gorodskogo stroitelstva*. Kyiv: Budivelnik.
14. Romakin, N. Y., & Malkova, N. V. (2006). Usiliye vnedreniya i optimalnyy ugol zaostreniya rabocheho nakonechnika pri staticheskom prokole grunta. *Construction and Road Building Machines*, 10, 35-37.
15. Rubinshteyn, A. L. (1961). *Gruntovedeniye, osnovaniya i fundamenti*. Moscow: Selkhozgiz.
16. Suponev, V. N., Oleksin, V. I., & Khachaturyan S. L. (2016). Investigation of changes in the state of ground around the horizontal well while it is being made using the method of static puncture. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 73, 196-202.
17. Timoshenko, V. K. (1969). Opredeleniye formy nakonechnika, obespechivayushchey minimalnoye usiliye prokola. *Stroitelstvo truboprovodov*, 3, 18-20.
18. Allouche, E. N., & Ariaratnam, S. T. (2002). State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. *Proceedings of the Pipelines Division Specialty Conference 2002*. doi:10.1061/40641(2002)55
19. Cohen, A., & Ariaratnam, S. T. (2017). Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. *Proceedings of the Pipelines 2017*, 553-563. doi:10.1061/9780784480878.050
20. Najafi, M., & Ma, B. (Eds.). (2009). *ICTPP 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications*. American Society of Civil Engineers.
21. Najafi, M. (2012). *Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods* (1st ed.). New York: McGraw Hill Professional.
22. Bian, Z. J. L. (2014). *Trenchless Technology Underground Pipes* (Chinese Ed.). Machinery Industry Press.

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. С. В. Ракшею (Україна);
к.т.н., доц. І. А. Куликом (Україна)

Надійшла до редколегії: 17.03.2017

Прийнята до друку: 22.06.2017