

УДК 624.132.3

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.59

ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ДІАМЕТРА СВЕРДЛОВИНИ ЗА УМОВИ ЗАДАНОЇ ГЛИБИНИ ПРОХОДКИ МЕТОДОМ СТАТИЧНОГО ПРОКОЛЮВАННЯ ҐРУНТУ

Супонєв В. М.¹, Рагулін В. М.¹, Кравець С. В.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Національний університет водного господарства й природокористування

Анотація. З аналізу технічної літератури встановлено, що серед безтраншейних технологій прокладання підземних інженерних комунікацій найбільш ефективною є та, що працює з утворенням горизонтально спрямованої свердловини в ґрунті з використанням ґрунтопроколювальних установок, які працюють за методом статичного проколювання. Цей метод полягає у створенні свердловини в ґрунті способом його силового радіального ущільнення в масив кінечно-циліндричним робочим органом та в протягуванні в неї захисного футляра у вигляді труби зі сталі, поліетилену, кераміки тощо. Земляні роботи в цьому разі зводяться до мінімуму. Одним із важливих недоліків методу статичного проколювання ґрунту є великі напруження в ґрунті навколо свердловини. Це може викликати пошкодження прилеглих комунікацій або основи доріг. Проведеними дослідженнями встановлено, що поширення цієї зони визначається діаметром свердловини й фізико-механічними властивостями ґрунту. Установлення розміру зони пружно-пластичної деформації навколо свердловини визначалося експериментальним способом під час проколювання ґрунту в природних умовах. Для польових досліджень було створено експериментальний зразок ґрунтопроколювальної установки з гідравлічним приводом подачі робочого органа в ґрунт від двох гідроциліндрів. Максимальне зусилля надавлювання за умови тиску від гідростанції 20 МПа становило 250 кН. Діаметри моделей проколювальних головок – 65 мм та 108 мм. Унаслідок досліджень отримано рівняння регресії для найбільш поширених типів ґрунтів: суглинку, супіску та глини II–III категорій щільності. Критерієм оцінювання можливості ущільнення ґрунту прийнято значення його пористості. Так, наприклад, було встановлено, що в процесі проколювання ґрунту на глибині 2,5 м допустимий діаметр свердловини, який створений методом статичного проколювання, не має перевищувати: для ґрунтів з пористістю 38 % – 170 мм; для ґрунтів з пористістю 45 % – 240 мм; для ґрунтів з пористістю 53 % – 300 мм. Отримана розрахункова залежність для практичного застосування на етапі проєктування мереж та вибору ефективного методу для проходки свердловини під дорогами або іншими перешкодами.

Ключові слова: інженерні комунікації, безтраншейні технології, свердловина, проколювання ґрунту, ущільнення ґрунту, розподільні трубопровідні мережі.

Вступ

У процесі прокладання інженерних комунікацій доводиться стикатися з перетином траси з дорогами, трамвайними й залізничними коліями. На сьогодні в будівництві переходів широко застосовуються безтраншейні технології прокладання комунікацій, за яких не потрібно проводити розкриття траншей з видаленням дорожнього покриття та зупинкою транспортних потоків. Ефективність кожної з цих технологій визначається способом розроблення ґрунту в разі формування свердловини. За цією ознакою всі технології можна поділити на два методи: з видаленням ґрунту із свердловини та без видалення.

Другий метод є кращим, оскільки значно скорочує витрати, пов'язані з вийманням і транспортуванням ґрунту у відвал, або вивезенням його з території будівельного майданчика. Одним із найбільш ефективних та широко застосовуваних методом формування свердловини є метод статичного проколювання. Однак, як показує практика, у його використанні виникає висока ймовірність пошкодження дорожнього покриття в разі проходження свердловини близько до поверхні. Причиною цього є великий напружений стан ґрунту та його деформація, що виникають навколо свердловини в процесі її формування.

Розмір зони деформації залежить від типу ґрунту та його властивостей. Наявні ре-

комендації щодо глибини проколювання або не враховують цю обставину, або мають складну методику розрахунку, що ускладнює її практичне застосування.

У цій статті наведено аналіз причин руйнування дорожнього покриття в умовах безтраншейної технології прокладання комунікацій методом статичного проколювання, запропоновано рекомендації щодо визначення максимально допустимого діаметра свердловини, яка розробляється з умови, що збереження дорожньої основи буде непошкоджене.

Аналіз публікацій

Проведений аналіз сучасних безтраншейних технологій для прокладання підземних інженерних комунікацій показав, що їх існує велика кількість і всі вони мають своє призначення [1]. Якщо оцінювати їх за критерієм мінімальності енерговитрат і собівартості проведення робіт наявними технічними засобами, то кращим із них є метод статичного проколювання ґрунту [2]. Але він має певні обмеження у використанні, що пов'язані зі створенням значних зусиль для здавлювання конічно-циліндричного робочого органа, який викликає значні напруження в ґрунтовому масиві навколо свердловини, що утворюється з допомогою його радіального ущільнення [3]. Визначено також, що опір утворення свердловини статичним проколюванням визначається параметрами його робочого органа, у якого наконечник традиційно має конічно-циліндричну форму [4]. Сучасні ґрунтопроколювальні установки з використанням гідродократів прості у використанні та мають малі габарити [5]. Руйнівний вплив на прилеглі комунікації або на дорожнє покриття розглядається в роботі [6]. Стійкі стінки свердловини, яка створена статичним проколюванням ґрунту, не вимагають додаткового їх укріплення дорогим буровим розчином, як цього потребує, наприклад, метод буріння [7]. Це свідчить про ще одну важливу перевагу методу, що розглядається.

Проте практика будівництва комунікаційних мереж показала, що метод статичного проколювання ґрунту поширений лише під час прокладання розподільних мереж [8, 9], для яких розмір свердловини не перевищує 400 мм [10]. Однак для уникнення цього негативного явища –

руйнування поверхневого шару покриття – не завжди економічно вигідно закладати комунікації на більшу глибину, а іноді це зробити просто неможливо [11].

Відповідно до відомчих будівельних норм України на лінійно-кабельні споруди, мінімальна глибина від верху покриття автомобільної дороги до верху труби за умови її закладання методом проколювання має становити не менше ніж 2,5 м. Ці рекомендації не враховують ні фізико-механічних властивостей ґрунту, ні діаметра створеної свердловини, що може призвести або до невиправдано малої, або невиправдано великої глибини облаштування приямків. У науковій літературі містяться й інші поради. Наприклад, рекомендується закладати свердловину на глибину не менше ніж 5 її діаметрів. Але ці рекомендації не враховують фізико-механічних властивостей ґрунту, і, як показала практика, не завжди відповідають дійсності.

З теорії глибокого різання ґрунту відоме поняття критичної глибини різання ґрунту, яка пов'язана з шириною робочого органа та фізико-механічними властивостями ґрунту. Так, згідно з методикою розрахунку, запропонованою в дослідженні [12], її величина може досягати від 4 до 5,6 товщини робочого органа. Однак через різницю фізики процесу глибокого різання ґрунту та процесу його проколювання також не можна дати однозначної відповіді щодо застосування цих рекомендацій.

Розрахункових залежностей для визначення максимально допустимого діаметра свердловини за умови заданої глибини проходки свердловини статичним проколюванням ґрунту, що враховують її діаметр і стан ґрунту й були б прості та зручні для використання, не виявлено. Тому питання щодо допустимих значень діаметра свердловин у разі заданої глибини проколювання ґрунту статичним методом є актуальним як з наукового, так і практичного погляду.

Мета та постановка завдання

Метою дослідження є визначення максимально допустимого діаметра свердловини під час прокладання інженерних комунікацій на заданій глибині методом статичного проколювання ґрунту та отримання розрахункових залежностей для його визначення з урахуванням фізико-механічних властивостей ґрунту, що розробляється.

Визначення допустимих значень діаметра свердловини за умови заданої глибини проколювання ґрунту статичним методом

Оскільки розміри свердловини, утвореної способом статичного проколювання, визначають ступінь її напруженого стану в масиві ґрунту, то за певних умов, коли розроблення свердловини проходить поблизу денної поверхні ґрунту, може виникнути ефект його руйнування та спучування. На дорозі це виявиться у вигляді тріщин, що з часом призводять до руйнування дорожнього покриття. Тому важливо знати, за якої мінімальної глибини та прийнятого діаметра свердловини не відбуватиметься цей негативний прояв.

Для розв'язання цього завдання розглянемо результати досліджень, проведених В. Рудневим [13], щодо занурення штампів у ґрунт. Учений установив зв'язок критичної глибини з його шириною, за умови якої поверхневе руйнування не відбувається, у вигляді простої лінійної залежності:

$$H_{кр} = a + bd, \quad (1)$$

де a і b – коефіцієнти лінійної апроксимації; d – ширина штампу, м.

Водночас коефіцієнти a і b , що містить формула, визначаються експериментальним шляхом для конкретних ґрунтових умов.

Отже, якщо припустити, що d – це розмір діаметра робочого органа, який проколює, то можна отримати й розрахункову залежність для мінімальної глибини закладання свердловини, утворену методом проколу. Значення безрозмірних коефіцієнтів можуть бути визначені з вирішення системи рівнянь способом установлення отриманих значень мінімальної глибини $H_{пр}$ для двох різних діаметрів проколювальних головок в однакових ґрунтових умовах:

$$\begin{cases} H_{пр1} = a + bd_1 \\ H_{пр2} = a + bd_2 \end{cases} \quad (2)$$

Для встановлення мінімальної глибини залягання свердловини залежно від її діаметра була проведена серія польових експериментів з натурним зразком ґрунтопроколювальної установки та її робочими органами (рис. 1) у різних ґрунтових умовах.

Методика дослідження полягала в такому. На першому етапі здійснювався вибір ділянки та її підготовка до експерименту. Це пе-

редбачало зняття й вилучення гумусного шару для отримання однорідного стану ґрунту. Після цього відривався прямокутник для розміщення в ньому експериментальної зразка ґрунтопроколювальної установки (рис. 1). У масив ґрунту заглиблювалися конусні наконечники діаметрами $d_1 = 65$ мм та $d_2 = 108$ мм. Їх кут загострення становив $\alpha = 60^\circ$. Довжина проколу відповідала відстані, за якої прокол переходив у стадію процесу, коли зростання напірного зусилля припинялося. Напірне зусилля фіксувалося датчиками тиску, вбудованими в гідравлічну систему установки.



Рис. 1. Експериментальний зразок ґрунтопроколювальної установки

Глибина застосування конусних наконечників змінювалася послідовно з інтервалом 50 мм. Після кожного заглиблення в процесі проколювання здійснювався візуальний контроль утворення тріщин на поверхні ґрунту, що поступово зменшувався. За умови повного зникнення тріщин процес припинявся. Для аналізу структури ґрунту в цьому місці відривався прямокутник і робився зріз ґрунту по вертикалі до перетину з утвореною проколюванням свердловиною (рис. 2). Якщо ґрунт залишався непорушеним по всій глибині, його відстань фіксувалася від денної поверхні до верхньої свердловини.

У процесі проведення експериментальних досліджень здійснювався експрес-контроль ґрунту на міцність за допомогою щільноміра ДорНДІ, а також відібрані проби ґрунту для детальнішого його вивчення в лабораторних умовах за розробленими методикам [14].

Експерименти проводилися в різних місцях з метою встановлення залежностей мінімальної глибини проколу в різних ґрунтових

умовах. На науково-дослідному полігоні Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) дослідження проводились у супіщаних ґрунтах із числом ударів щільноміра ДорНДІ 3–4, що відповідає 1-й категорії міцності. На території підприємства «Спецбудмеханізація» на вул. Велозаводській, 2/5 у м. Харкові ґрунт був тугопластичною глиною з числом ударів, рівним 6–7, що властиво для 2-ї категорії міцності. У с. Кутузівка Харківського р-ну була тверда глина з числом ударів 12–13, що відповідає 3-й категорії міцності ґрунтів. Фізико-механічні властивості ґрунтів, установлені в лабораторних умовах на кафедрі будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ, наведені в табл. 1.



Рис. 2. Утворення тріщин під час статичного проколювання ґрунту

Здобуті експериментальні значення мінімальної глибини закладання свердловини $H_{пр}$ подані в табл. 1. Підставили систему рівнянь (2) величини мінімальної глибини для двох випадків проколу й розрахували коефіцієнти апроксимації a і b щодо кожної з досліджуваної ґрунтової умови, які також наведені в таблиці.

Отже, підставляючи значення коефіцієнтів a та b , розрахуємо мінімально допусти-

му глибину проколу за будь-якого діаметра свердловини для досліджуваних ґрунтів:

$$\text{для супіску: } H_{кр} = 57,8 + 9,4d ;$$

$$\text{для суглинку: } H_{кр} = 20,93 + 8,14d ;$$

$$\text{для глини: } H_{кр} = 125,58 + 13,84d .$$

Таблиця 1 – Основні фізико-механічні властивості ґрунтів і коефіцієнти лінійної апроксимації для визначення критичної глибини проколу

Місто проведення експериментів	Полігон ХНАДУ	Підприємство «Спецбудмеханізація»	Селище Кутузівка	
Тип ґрунту	Супісок пластичний	Суглинок тугопластичний	Глина напівтверда	
Число ударів щільноміра ДорНДІ, C , (категорія ґрунту)	3–4 (I)	6–7 (II)	12–13 (III)	
Об'ємна маса, γ , кг/м ³	1780	1900	2000	
Кут зовнішнього тертя, ϕ , град.	15	19	21	
Пористість, n_0 , %	53	45	38	
Вологість, ω , %	18	24	20	
Зчеплення, C , МПа	0,03	0,05	0,1	
Мінімальна глибина, $H_{пр}$, мм за умови діаметрів свердловини d , мм	$d_1 = 65$	550	700	1050
	$d_2 = 108$	900	1100	1650
Коефіцієнти лінійної апроксимації	a	20,93	57,79	125,58
	b	8,14	9,42	13,84

Отримані формули мають обмежений характер застосування та справедливі лише для конкретних ґрунтових умов, а розроблення рекомендацій для широкого спектра ґрунтів потребує масштабних досліджень.

Для встановлення розрахункової залежності мінімальної глибини проколу від його діаметра й фізико-механічних властивостей ґрунту розглянемо фізичну картину проколу та його особливості.

Дослідженнями [12–14] встановлено, що радіально витіснений ґрунт у процесі формування свердловини створює зону структурно-пружних деформацій. У цьому разі тверді

частинки, переміщуючись у зону менших напружень, займають у ній весь обсяг порожнин. Епюра поширення напружень, згідно з А. Вазетдіновим, є концентричними колами, центром яких є вісь свердловини. Найбільше напруження спостерігається біля свердловини. Зона структурної деформації, на думку автора, обмежується деяким радіусом $R_{роз}$, далі від якої розміщена зона пружних деформацій R , обмежується величиною напруження в ґрунті й дорівнює природним напруженням. Величина $R_{роз}$ розраховується за формулою:

$$R_{роз} = \frac{r}{\sqrt{n_0}}. \quad (3)$$

А. Вазетдінов вважає, що сила опору ґрунту проколу безпосередньо пов'язана з розміром зони структурних змін, що визначається його пористістю. Тому логічно припустити, що мінімальна глибина проколу також безпосередньо пов'язана з розмірами зони структурних змін. Для перевірки цього припущення за результатами експериментів, поданими в табл. 1, отримали залежності мінімальної глибини закладення свердловини $H_{пр}$ від його пористості n_0 . Для двох випадків проколу свердловини діаметрами $d_1 = 65$ мм та $d_2 = 108$ мм та за трьома точками значень мінімальної глибини проходки свердловини $H_{пр}$ з пористістю $n_0 = 38\%$; $n_0 = 45\%$; $n_0 = 53\%$ можна побудувати криві, що на рис. 3 мають вигляд гіперболи та добре описуються кореляційною залежністю:

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

де $D_{св}$ – діаметр свердловини, м; n_0 – природна пористість ґрунту, %.

Як видно з графіків, поданих на рис. 3, залежності зони структурних змін і мінімальної глибини проколу дійсно мають однаковий характер залежності від пористості ґрунту.

Для перевірки адекватності формули (4) побудуємо графік розрахункової залежності критичної глибини від діаметра свердловини в ґрунтах із пористістю, що відповідає експериментальним даним та порівняємо здобуті результати з експериментальними значеннями, порівнявши їх один з одним. Як видно з графіка (рис. 4), похибка розрахункових та

експериментальних значень не перевищує 5 %, що є незначним рівнем розбіжності.

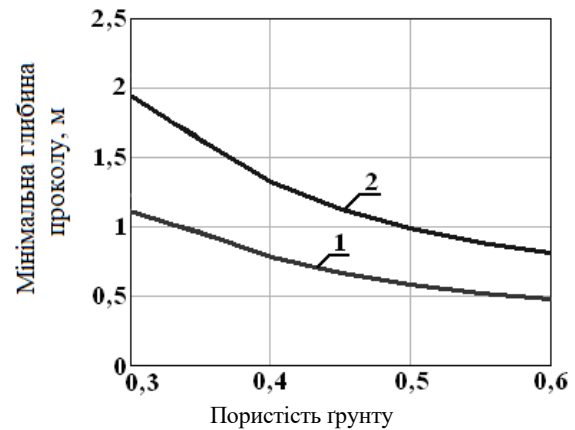


Рис. 3. Залежність мінімальної глибини проколу від пористості ґрунту: 1 – для діаметра проколу $d_1 = 65$ мм; 2 – для діаметра проколу $d_2 = 108$ мм

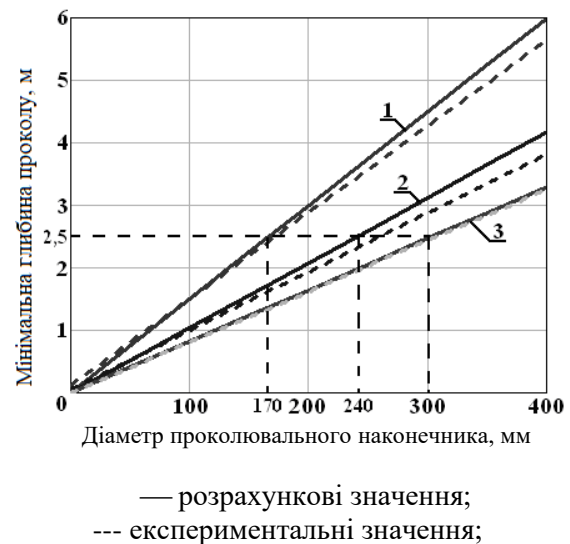


Рис. 4. Залежність мінімальної глибини проколу свердловини від діаметра конусного наконечника: 1 – $n_0 = 38\%$; 2 – $n_0 = 45\%$; 3 – $n_0 = 53\%$

З рис. 4 видно, якщо необхідно розробити свердловину на глибині 2,5 м, то гранично допустимий розрахунковий діаметр проколу ґрунту установкою статичної дії становитиме 170 мм для ґрунтів з пористістю $n_0 = 38$, для ґрунтів з пористістю $n_0 = 45$ діаметр має бути 240 мм та для ґрунтів з пористістю $n_0 = 53$ не більше ніж 300 мм.

У практиці будівництва переходів під дорогами, як правило, визначальною величиною є проектна глибина закладення інженер-

них комунікацій. Тому важливо знати, який граничний діаметр горизонтальної свердловини можна створити методом статичного проколювання. Її величину визначимо з умови розроблення свердловини в межах мінімально допустимої глибини проколу, яка дорівнюватиме:

$$D_{\text{св}} = \left[4,4 + \frac{H}{(0,01 \cdot n_0)^{2,25}} \right], \quad (5)$$

де H – глибина проходки свердловини до її верхньої утворювальної.

Якщо заданий діаметр свердловини не перевищує значення розрахункового, метод статичного проколювання можна застосовувати без ризику руйнування дорожньої основи. Якщо розрахунковий діаметр буде понад заданий розмір свердловини, необхідно застосувати іншу технологію розроблення свердловини, наприклад буріння, продавлювання або комбінацію методів проколювання та продавлювання.

Аналіз результатів досліджень із визначення допустимого діаметра свердловини

Під час підземного прокладання інженерних комунікацій постійно доводиться стикатися з перетинанням перешкод у вигляді доріг, трамвайних і залізничних колій. Серед наявних технологій безтраншейного прокладання, які для цього призначені, найбільш ефективною є технологія статичного проколювання ґрунту. Але значне напруження ґрунту може призвести до руйнування основи доріг або прилеглих комунікацій. Саме тому цей метод використовується обмежено. Його запровадження також стримується у зв'язку з відсутністю надійних розрахунків і практичних рекомендацій щодо обмеження розміру діаметра свердловини за умови установлення глибини проходки свердловини. Запропонована методика для отримання залежностей, що дають змогу обчислити допустимі розміри діаметра свердловини в разі його статичного проколювання, ґрунтується на емпіричних дослідженнях із натурними зразками обладнання в природних ґрунтових умовах та різними його типами, що мають найбільше поширення в загальному ґрунтовому фоні України. За критерій оцінки можливого напруження ґрунту від його радіального ущільнення взято пористість ґрунту в природному стані. Такий підхід дав змогу

здобути об'єктивні результати, про що свідчать практичні випробування.

Висновки

Отримана залежність для визначення допустимого діаметра свердловини дає змогу ще на стадії проектування обрати ефективну технологію безтраншейної прокладки інженерних комунікацій з умови збереження основи доріг від руйнувань. Зокрема вона допомагає встановити сфери раціонального застосування методу статичного проколювання ґрунту. Практична цінність запропонованої розрахункової залежності є її спрощеність, де зв'язок із щільністю різних ґрунтів прив'язаний до одного із основних його показників – пористості. Цей показник наводиться у довідниках або може бути встановлений лабораторним шляхом.

Отримана розрахункова залежність для визначення мінімально допустимого розміру свердловини, що утворюється статичним проколюванням ґрунту конічно-циліндричним наконечником ґрунтопроколювального робочого органа, може бути використана для практичного впровадження за умови безтраншейного прокладання підземних інженерних комунікацій у ґрунтах із природною вологістю, у яких пористість поширена в діапазоні від 35 % до 55 %.

Література

1. Rudnev V. K., Suponiyy V. N., Saenko N. V. et al. Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. № 2. С. 100–107.
2. Najafi M. Trenchless technology piping. Installation and inspection / ASCEpress, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia, 2010. 482 p.
3. 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.
4. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень ДБН 360-92**. [Зі змінами документ актуальний з 01.07.2017] Київ: Держбуд України, 1992. 137 с.
5. Zhao Jun Ling Bian. Trenchless technology underground pipes. Machinery Industry Press, 2014. P. 187.
6. Машины для безтраншейної прокладки підземних комунікацій: навчальний посібник / С. В. Кравець, В. К. Руднєв, Н. Д. Каслін, В. М. Супонев. Харків: Фавор, 2008. 256 с.
7. Pridmore A., Geisbush J. Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. *Pipelines 2017. Pipelines Planning and*

- Design Book set*. 2017. P. 553–563. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784480878>
8. Супонев В. М., Олексин В. І., Рагулін В. М. Визначення мінімально допустимої глибини проходки горизонтальних свердловин в ґрунті при статичному проколі. *InterConf: with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference «Global and Regional Aspects of Sustainable Development»*. Copenhagen, Denmark, 2023. № 148 P. 425–430.
 9. Erez N. Allouche, Samuel T. Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. 2012. URL: [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55).
 10. 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.
 11. Сучасний технічний стан магістральних трубопроводів та оцінка екологічної безпеки при транспортуванні по ним енергетичних носіїв / О. І. Богатов та ін. // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 2022. Вип. 99. С. 151–158.
 12. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Тимейчук О. Ю. Дослідження робочих процесів машин і методи оптимізації: навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2011. 240 с.
 13. Rudnev V. Odroz pri rezani zemin pravuku lunou. *Sirvirenstvi*. 1964. № 3. С. 112–117.
 14. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей: ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Чинний від 22.12.2009. Київ: Мінеріонбуд, 2010. 23 с.
 7. Pridmore, A., Geisbush, J. (2017) Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling. *Pipelines 2017. Pipelines Planning and Design Book set*, pp. 553–563. URL: <https://doi.org/10.1061/9780784480878>
 8. Suponev, V. M., Oleksin, V. I., Ragulin, V. M. (2023) V-value of the minimum permissible depth of horizontal drilling in the soil during static drilling. *InterConf: with the Proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference «Global and Regional Aspects of Sustainable Development»*. Copenhagen, Denmark, no. 148, pp. 425–430 [in Ukrainian].
 9. Erez, N. Allouche, Samuel, T. (2012) Ariaratnam, State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations. URL: [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55)
 10. 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 Baosong Ma*, ASME. New York.
 11. Bogatov O. I., Suponev V. M., Ragulin V. M., Yaryzhko O. V., Musiyko V. D. (2022) Modern technical condition of trunk pipelines and assessment of environmental safety during transportation of energy carriers along them. *Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University*, issue 99, pp. 151–158 [in Ukrainian].
 12. Kravets, S. V., Lukyanchuk, O. P., Timeychuk, O. Yu. (2011) Study of working processes of machines and methods of optimization: training. manual. Rivne: NUVHP, 240 p. [in Ukrainian].
 13. Rudnev, V. (1964) Odroz pri rezani zemin pravuku lunou. *Sirvirenstvi*, no. 3, pp. 112–117.
 14. Soils. Methods of laboratory determination of physical properties: DSTU B V.2.1-17:2009. Effective from 22.12.2009. Kyiv, 2010, 23 p. [in Ukrainian].

References

1. Rudnev, V. K., Suponiyv, V. N., Saenko, N. V. et al. (2015) Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. *Magazine of Civil Engineering*, no. 2, pp. 100–107.
2. Mohammad Najafi (2010) Trenchless technology piping. Installation and inspection / ASCE Press, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia, 482 p.
3. 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. DOI: 10.1115/1.802922.paper30.
4. Urban planning. (1992) Planning and construction of urban and rural settlements DBN 360-92**. [With changes, the document is current as of 01.07.2017]. Kyiv, 137 p. [in Ukrainian].
5. Zhao Jun Ling Bian (2014). Trenchless technology underground pipes. *Machinery Industry Press*, P. 187.
6. Kravets, S. V., Rudnev, V. K., Kaslin, N. D., Suponev, V. M. (2008) Machines for trenchless laying of underground communications: training manual. Kharkiv, 256 p. [in Ukrainian].

Супонев Володимир Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, v-suponev@ukr.net, тел. +38050-30-199-58.

Рагулін Віталій Миколайович, канд. техн. наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, ragulinrvn@ukr.net, тел. +38-050-545-80-70.

Кравець Святослав Володимирович, д-р техн. наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, s.v.kravets@nuwm.edu.ua, тел. +38-097-28-915-89.

Determination of the maximum allowable diameter of the well at a given depth of penetration by the method of static soil puncture

Abstract. Problem. From the analysis of the technical literature, it was established that among the trenchless technologies for laying underground engineering communications, the most effective is the one that works with the formation of a horizontally oriented well in the soil using ground-piercing units that work according to the static piercing method. This method consists in creating a horizontal-but-directed well in the soil by its force radial compaction into a massif and pulling into it, as usual, a protective case in the form of a pipe made of steel, polyethylene, ceramics, etc. At the same time, earthworks are reduced to a minimum. One of the important disadvantages of the method of static soil puncture is the high stresses in the soil around the well, which can cause damage to nearby communications or road foundations. The conducted studies established that the spread of this zone is determined by the diameter of the well and the physical and mechanical properties of the soil. **Goal.** The main goal of the study is to establish the maximum permissible diameter of the well at a given depth from the road surface. **Methodology.** The size of the elastoplastic deformation zone around the borehole was determined experimentally when the soil was punctured under natural conditions. To conduct field experiments, an experimental model of a soil-piercing unit with a hydraulic drive for feeding the working body into the soil from two hydraulic cylinders was created. The maximum pressing force at a pressure from a hydrostation of 20 MPa was 250 kN. The diameters of the piercing head models were 65 mm and 108 mm. As a result of

the experiments, regression equations were obtained for the most common types of soils: loam, sandy loam, and clay of II-III density category. The value of its porosity was taken as a criterion for assessing the possibility of soil compaction. **Results.** According to the research results, it was established that when piercing the soil at a depth of 2.5 m, the permissible diameter of the well created by the method of static piercing should not exceed: for soils with a porosity of 38% - 170 mm; for soils with a porosity of 45% - 240 mm; for soils with a porosity of 53% - 300 mm. **Practical meaning.** The calculation dependence for practical application at the stage of designing networks was obtained and an effective method for drilling a well under roads or other obstacles as chosen. **Key words:** engineering communications, trenchless technologies, well, soil puncture, soil compaction, distribution pipeline networks.

Suponev Vladimir, DSci (Engineering), Professor Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, v-suponev@ukr.net, tel. +38050-30-199-58.

Ragulin Vitaliy, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, Kharkiv National Automobile and Highway University, ragulinrvn@ukr.net, tel. +38-050-545-80-70.

Kravets Svyatoslav, DSci (Engineering), Professor Department of building, road, melioration, agricultural machinery and equipment, National University of Water and Environmental Engineering, s.v.kravets@nuwm.edu.ua, tel. +38-097-28-915-89.