

УДК 631.173

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.54

## ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ТЯГЛОВОГО ЗУСИЛЛЯ ГВИНТОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ПРИ ПРОКОЛІ ҐРУНТУ

Супонєв В. М.<sup>1</sup>, Вівчар С. М.<sup>2</sup>, Рагулін В. М.<sup>1</sup>,  
Орел О. В.<sup>1</sup>, Олейнікова О. М.<sup>1</sup>, Ковалевський С. Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет

<sup>2</sup>ТОВ СКТЬ «Гідромодуль»

**Анотація.** Розглянуто методику теоретичного визначення максимального тяглового зусилля гвинтового робочого органу при встановлених параметрах лопаті та діаметра свердловини для безтраншейного прокладання підземних комунікацій.

**Ключові слова:** прокол ґрунту, фізико-механічні властивості ґрунту, інженерні комунікації, гвинтовий робочий орган, гвинтова лопать, сила опору, формування свердловини.

### Вступ

Тенденція зростання будівництва підземних комунікацій призвела до збільшення обсягу робіт із безтраншейного прокладання газопроводів, водоводів, каналізаційних систем, енергетичних кабелів і кабелів зв'язку. Особливо це стає нагальною проблемою під час будівництва переходів під дорогами та трамвайними коліями у стислих міських умовах, де необхідно створювати свердловину у ґрунті малогабаритними установками. Удосконалення робочих процесів та пошук нових методів формування свердловин, що націлене на зменшення енерговитрат на виробництво робіт та підвищення продуктивності малогабаритними установками, є актуальною задачею.

### Аналіз публікацій

Прокладання лінійної частини трубопроводів виконується як з її укладанням у відкриті траншею [1], так і безтраншейними методами [2–4]. Враховуючи тенденції до підвищення вимог до виконання робіт із будівництва переходів під дорогами та трамвайними коліями [5], особливо у великих містах, де зупинка транспортного руху може призвести до зростання соціальних проблем для населення та додаткових економічних витрат та інших незручностей, безтраншейні технології прокладання та ремонту підземних комунікацій набувають безперечної переваги.

Детальні дослідження питання процесу проколу ґрунту наводяться у роботах [6–10], а у таких працях, як [11–13] запропоновані конструкції проколюючих наконечників, які в певних умовах забезпечують керування траєкторією руху. Однак у цих роботах не

розглядається запропонований в роботі принцип проколу ґрунту [14] за допомогою гвинтового робочого органу.

Ідея формування горизонтально спрямованих свердловин у ґрунті для безтраншейного прокладання підземних комунікацій була взята з аналогічних процесів просування у ґрунті гвинтових паль та анкерних кріплень. Тому було проведено огляд існуючих досліджень у цьому напрямку.

Питання загвинчування гвинтових паль у ґрунт вперше детально було розглянуто в роботі [15]. Дослідження сучасних конструкцій для загвинчування гвинтових паль було наведено в роботах [16; 17]. Детальні дослідження процесів загвинчування паль механізмами, які забезпечені блоками примусового осьового натиснення паль, розглянуто в роботі [18]. Але в наведених дослідженнях робота гвинтових наконечників паль та анкерних кріплень не розглядається у якості тяглового робочого органу для формування горизонтально спрямованих свердловин у ґрунтах у випадку безтраншейного прокладання інженерних комунікацій. Якщо припустити, що свердловина буде утворюватись стрижнем гвинтового робочого органу, а просування у ґрунті він буде за допомогою гвинтових лопатей, то для реалізації процесу осьового прикладання зусилля не знадобиться. А тому можна стверджувати, що недоліки, наявні в разі статичного проколу шляхом тиску на ґрунтопроколювальну головку штангами, будуть відсутні. А саме втрати стійкості штанг при їх стисненні не буде відбуватися, та, відповідно, не буде її впливу на курсовий рух головки у ґрунті. Крім того, силова установка буде мати лише привод обертового руху, що робить її простішою та компактнішою.

Тому можна вважати, що вдосконалення процесу створення свердловин у ґрунті гвинтовим робочим органом, яке націлено на підвищення ефективності безтраншейного прокладання інженерних комунікацій у ґрунті, є важливою науковою задачею.

#### Мета і постановка завдання

Метою статті є теоретичне визначення тяглового зусилля гвинтового робочого органу із прийнятими параметрами лопатей та діаметра створеної свердловини.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз закономірностей початкового процесу загвинчування робочого органу в масив ґрунту;
- розглянути процеси взаємодії робочого органу за умов стабільного його руху;
- розглянути причини та умови зупинки процесу просування робочого органу.

#### Закономірності процесу формування свердловини гвинтовим ґрунтопроколювальним робочим органом

Особливістю пропонованої до впровадження установки для проколу ґрунту з використанням гвинтового робочого органу є те, що для спрощення конструкції та зниження її маси в ній відсутній механізм осьової подачі робочого органу (рис. 1).

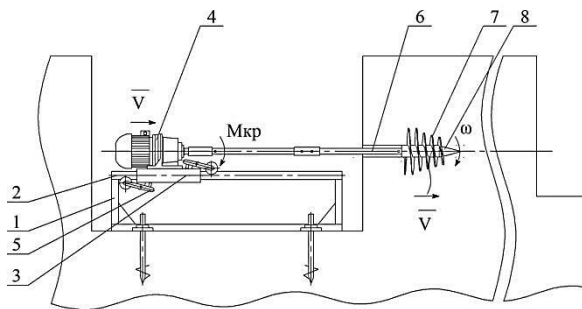


Рис. 1. Схема роботи установки для горизонтального проколу ґрунту за допомогою гвинтового робочого органу

Для поздовжнього переміщення приводу спільно з робочим органом 6 передбачені поздовжні напрямні 2 і, врішті-решт, чотири роликоопору 5. Крутий момент ( $M_{кр}$ ) передається на гвинтовий робочий орган 7 за допомогою штанги 6. Як видно з опису пропонованої конструкції установки для горизонтального проколу ґрунту, через спрощення конструкції у ній відсутній механізм осьової подачі робочого органу. Очевидно, що для

появи тягової сили від пари «гвинтова лопать–ґрунт» її спочатку необхідно якось заглибити в масив ґрунту.

Процес обертально-поступального руху Впро в масиві ґрунту можливий у випадку подолання сил і моментів опору

$$\begin{aligned} M_{кр}^a &> M_{кр}^c, \\ P_{ос}^a &> P_{ос}^c, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $M_{кр}^a$  – активні моменти;  $P_{ос}^a$  – активні осьові сили;  $M_{кр}^c$  – моменти сил опору;

$P_{ос}^c$  – осьові сили опору.

Конструкція гвинтового проколювального органу дещо відрізняється від конструкцій гвинтових мікропаль, оскільки вона повинна формувати горизонтальну свердловину для прокладки в ній різних підземних інженерних комунікацій. А саме, штанги повинні тільки працювати на передачу обертання і крутного моменту на гвинтовий робочий орган і не працює, на відміну від якірних пристроїв і паль, на їх утримання від осьового зсуву за рахунок сил тертя і зчеплення з обтисканням ґрунтом. Навпаки, ці сили необхідно мінімізувати. Тому діаметр штанг повинен бути менше діаметра основного створу проколювальної головки. А його довжина повинна забезпечувати розміщення на ньому гвинтових лопатей і зберігати стійкий курс руху головки.

Для осьового заглиблення робочого органу в масив ґрунту необхідно, щоб дотримувалася друга умова (1).

Умова появи мінімального активного осьового зусилля і виникнення тягової сили від гвинтової пари «лопать–ґрунт» представлена на схемі (рис 1). Для мінімізації необхідної осьової сили подачі гвинтового робочого органу необхідно застосовувати конструкцію наконечника саме за вказаною схемою. Якщо застосовуються гвинтові наконечники інших конструкцій, то необхідне осьове зусилля подачі в масив ґрунту визначають за рекомендаціями [16–18].

Пропонована конструкція гвинтового проколювального органу (ГПРО) (рис. 2) передбачає можливість проколу свердловин різного діаметра.

У конструкції гвинтового ГПРО можливі два варіанти закріплення розширювального конуса: жорстке на штанзі та з можливістю обертання. В останньому випадку ускладню-

ється конструкція ГПРО, однак осьове зусилля його просування в масиві ґрунту зменшується в 1,2 ... 1,4 рази [19].

Сказане вище дозволяє відзначити наступне: конструкції гвинтових робочих органів мають достатнє теоретичне й експериментальне опрацювання. За існуючими рекомендаціями є можливість визначити моменти і сили опору, як для конструкцій гвинтових паль, так і для гвинтових проколювальних робочих органів.

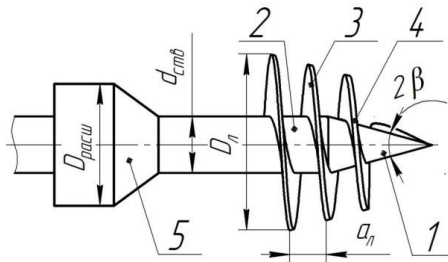


Рис. 2. Конструкція гвинтового проколювального робочого органу: 1 – наконечник; 2 – основна гвинтова лопать; 3 – штанга; 4 – додаткова тягова лопать; 5 – розширювальний конус

Принциповим є той факт, що після занурення гвинтового робочого органу в масив ґрунту осьові сили опору  $P_{ос}^c$  долаються за рахунок перетворення деякої частини активного моменту в осьове активне зусилля.

Для опису силових співвідношень у традиційній гвинтовій парі використовується рівняння

$$R = Q \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho), \quad (2)$$

де  $R$  – радіальне навантаження;  $Q$  – осьове навантаження;  $\alpha$  – кут нахилу гвинтової лінії;  $\rho$  – кут тертя у гвинтовій парі.

З огляду на особливості гвинтової пари «лопать–ґрунт», необхідно в залежність (2) ввести деякі коригування. По-перше, за умов однакового кроку широколопатевої гвинтової лопаті крок гвинтових ліній від осі її торця безперервно збільшується. Тому в рекомендаціях [16; 19] розрахунковий і середній кути нахилу гвинтової лінії рекомендовано приймати рівним

$$\alpha^* = \operatorname{arctg}\left(\frac{a_n}{k_n \cdot \pi \cdot D_n}\right), \quad (3)$$

де  $a_n$  – крок гвинтової лопаті;  $D_n$  – діаметр лопаті;  $k_n$  – коефіцієнт, що враховує змінний характер гвинтової лінії на лопаті.

По-друге, в разі перетворення крутного моменту (деяка частина активного моменту) в активну осьову силу, спрямовану на подолання осьових сил опору ґрунту при обертально-поступальному русі ГПРО, відбувається спірання тильної поверхні гвинтової лопаті об ґрунт. При тому, що спирається, тильного боку лопаті об ґрунт у близьколопатному просторі виникає напруга стиснення і ґрунт починає ущільнюватися. Цей факт можна фіксувати, спостерігаючи за фактичним переміщенням ГПРО, змінюючи крок заглиблення. Зазначений процес ущільнення у ґрунт в околлопатному просторі рекомендується враховувати через коефіцієнт пробуксовування і фактичний кут нахилу розрахункової гвинтової лінії уявити як

$$\alpha^* = \operatorname{arctg}\left(\frac{a_n \cdot k_n}{k_n \cdot \pi \cdot D_n}\right). \quad (4)$$

Крутний активний момент, що витрачається на подолання осьової сили опору, складе

$$M_{ос}^a = Q_{ос}^c \cdot \operatorname{tg}(\alpha^* \cdot \rho) \cdot R_{ср}, \quad (5)$$

де  $R_{ср} = 0,66 \cdot D_n$  – розрахунковий діаметр гвинтової лопаті;  $Q_{ос}^c$  – осьові сили опору.

Повний активний момент, який повинен розвивати привод силової установки, можна записати

$$M_{кр}^a = M_{кр}^c + M_{ос}^a, \quad (6)$$

#### Визначення максимального тяглого зусилля гвинтопроколювального робочого органу

Якщо взяти розширювальний конус більшого діаметра  $D_{расш}$ , ніж діаметр первинного стрижня  $d_{ств}$ , то очевидно зростають осьові сили опору  $Q_{ос}^c \rightarrow \max$ . Тому конкретне обладнання проколу ґрунту ГПРО має конкретну галузь застосування.

Установка для реалізації процесу проколу ґрунту Впро, через недостатню потужність приводу, яка визначає активний крутний момент  $M_{кр}^a$  із залежності:

$$M_{кр}^a \cdot \omega = N_{де},$$

буде непрацездатною, якщо:

$$M_{кр}^a < M_{кр}^c + M_{ос}^a. \quad (7)$$

В разі подолання осевих сил опору за рахунок того, що тильна поверхня лопаті спирається об ґрунт, відбувається ущільнення останнього. Тому в масиві ґрунту нарізається гвинтова лінія, товщина якої може бути значно більше товщини лопаті, що здійснює рух у масив ґрунту.

На рис. 3 приведено фотографію масиву ґрунту після проходження ГПРО. На фотографії явно проглядається досить широка гвинтова нарізка і ущільнені шари ґрунту.



Рис. 3. Гвинтова нарізка в масиві ґрунту після його проколу ГПРО

Якщо робити проколи ґрунту робочим органом більшого діаметра, то в масиві ґрунту напруги зростають і починається процес формування ущільненого ядра.

На рис. 4 показано фотографію ущільненого ядра ґрунту на ГПРО, а на рис. 5 – схему взаємодії ущільненого ядра з масивом ґрунту і тильною поверхнею лопаті.

При цьому процес взаємодії гвинтової лопаті робочого органу супроводжується одночасним процесом взаємодії ущільненого ядра з масивом ґрунту. У міру зростання напруги в околлопатному просторі ґрунту розміри ущільненого ядра зростають.

У процесі утворення ущільненого ядра на тильній поверхні гвинтової лопаті Впро є можливими три схеми його поведінки:

- ядро утримується в масиві ґрунту й обертально-поступальний рух ГПРО триває;
- ущільнене ядро ґрунту починає утримуватися в масиві ґрунту, а гвинтовий робочий орган повертається;

- ущільнене ядро ґрунту утримується на гвинтовій лопаті та повертається разом із ГПРО, відбувається зрив гвинтового ґрунтового різьблення.



Рис. 4. Фотографія ущільненого ядра ґрунту на ГПРО

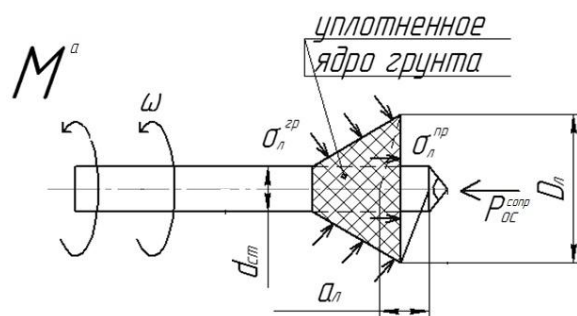


Рис. 5. Схема взаємодії ущільненого ядра в масиві ґрунту із гвинтовою лопаттю

У другому і третьому випадках відбувається відмова в роботі установки проколу ґрунту ГПРО за схемою на рис. 6.

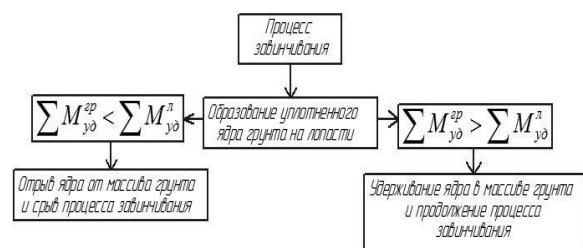


Рис. 6. Схема відмов у процесах проколу ґрунту ГПРО

Момент, що утримує ущільнене ядро в масиві ґрунту (рис. 5), можна представити в такий спосіб



$$\sum M_{уд}^{гр} = \sigma_{гр}^{пр} \cdot S_{я}^{бок} \cdot R_{я}^{бок}, \quad (8)$$

де  $\sigma_{гр}^{пр}$  – максимальне напруження в ущільненому ядрі ґрунту;  $S_{я}^{бок}$  – бокова поверхня ущільненого ядра;  $R_{я}^{бок}$  – середній радіус сил, що утримують ущільнене ядро в масиві ґрунту.

Для інженерних розрахунків можна застосовувати такі припущення: ущільнене ядро формується на верхній (тильній) поверхні лопаті й закінчується на поверхні штанги. Ущільнення ядра набуває вигляду усіченого конуса, тоді можна записати

$$S_{я}^{бок} = \frac{0,25\pi}{\operatorname{tg}\alpha_{я}} (D_{л}^2 + d_{шт}^2). \quad (9)$$

Найчастіше кут біля основи ядра  $\alpha_{я}$  приймається рівним 45, тоді висота ядра складе  $h_{я} = \frac{D_{л}}{2}$ . При цьому нижній діаметр ядра дорівнює  $D_{л}$ , верхній –  $d_{шт}$ .

З урахуванням залежностей (8) і (9) можна записати вираз для сумарного утримувального моменту

$$\sum M_{уд}^{гр} = \sigma_{гр}^{пр} \cdot \frac{0,25\pi}{\operatorname{tg}\alpha_{я}} (D_{л}^2 + d_{шт}^2) \cdot R_{пр}, \quad (10)$$

де  $R_{пр} = 0,66 \cdot D_{л}$  – радіус приведення сумарних сил тертя по бічній поверхні ядра.

В умовах всебічного стиску ґрунту максимальне напруження в масиві становитиме [20]

$$\sigma_{гр}^{пр} = k_{пр} \cdot \sigma_0, \quad (11)$$

де  $k_{пр}$  – коефіцієнт схеми взаємодії, в нашому випадку дорівнює  $k_{пр} = 3,2$ ;  $\sigma_0$  – опір ґрунту одноосьовому стиску.

Момент, що утримує ущільнене ядро на гвинтовій лопаті, можна подати як

$$M_{уд}^л = \sigma_{гр}^{пр} \cdot S_{л} \cdot R_{ср}$$

або

$$M_{уд}^л = \sigma_{гр}^{пр} \frac{\pi \cdot (D_{л}^2 + d_{шт}^2)}{4} \cdot 0,66 \cdot D_{л}. \quad (12)$$

Для перевірки математичних моделей (8) і (12) процес загвинчування і стопорення ГПРО в масиві ґрунту був розроблений спеціальний стенд, який дозволив загвинчувати Впро в масив ґрунту і створювати зусилля зриву гвинтової нарізки у свердловині.

На рис. 7 представлено фото випробувального стенда, в якому, крім механізмів обертання і переміщення штанги з Впро, були встановлені вузли фіксації крутного моменту. Вимірювання граничних значень тягового зусилля гвинтових лопатей до моменту зриву процесу і зупинки руху робочого органу здійснювалося за допомогою динамометра, встановленого між рамою стенда і пересувною кареткою установки.



Рис. 7. Вимірювання максимальної тягової сили гвинтових лопатей ГПРО

В ході експериментальних досліджень моделювалися процеси проколу ґрунту з різними параметрами ГПРО: діаметра лопаті, її кроку, діаметра штанги і діаметра проколювального снаряда.

Дослідження проводилися в реальних умовах на полігоні НПП «Газтехніка». За двофакторною матрицею, в кожній точці якої проводилося не менше 3 експериментів, були проведені повноцінні випробування.

Порівняльний аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень представлено на рис. 8 і 9.

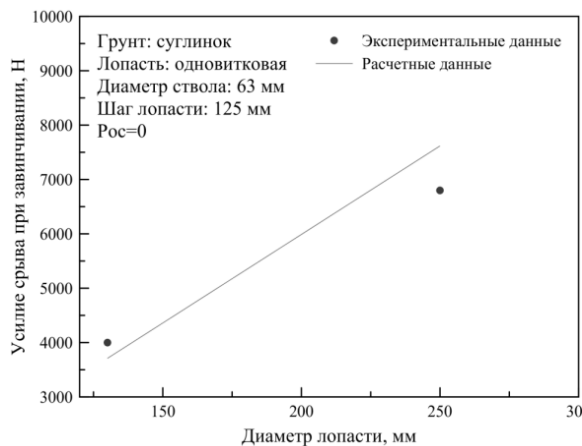


Рис. 8. Залежність тягового зусилля зриву від крутного моменту

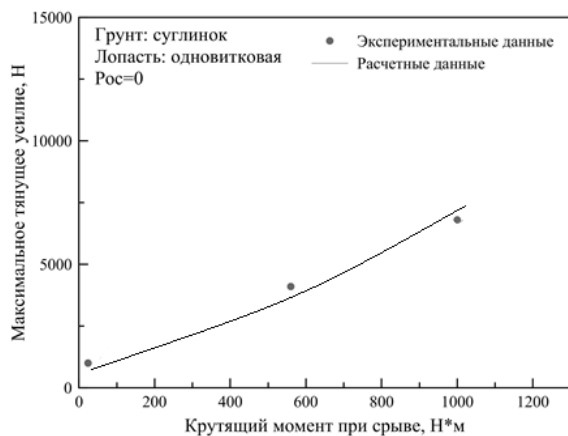


Рис. 9. Залежність тягового зусилля відриву від діаметра лопаті

Представлені на рис. 8 і 9 порівняльні результати показали хорошу збіжність теоретичних та експериментальних значень осьових сил і крутних моментів, що виникають під час роботи з ГПРО. Розбіжність даних не перевищує 10–15%, що дозволяє дійти висновку, що математичні моделі процесів загвинчування ГПРО, а також утворення ущільненого ядра і зриву поступально-обертального руху ГПРО, адекватно описують реальні процеси.

При цьому необхідно зазначити, що ГПРО з діаметром лопаті 250 мм забезпечує не тільки переміщення стрижня робочого органу діаметром 63 мм, а й може тягнути за собою розширювальний конус із зусиллям від 10000 до 15000 Н і формувати свердловину

великим діаметром, наприклад 150–200 мм у суглинному ґрунті.

### Висновки

- Отримано розрахункові залежності для визначення максимального крутного моменту й осьового опору ґрунту у випадку його проколу гвинтовим робочим органом. Встановлено, що Впро з діаметром лопаті 250 мм забезпечує не тільки переміщення стрижня робочого органу діаметром 63 мм, а й може тягнути за собою розширювальний конус із зусиллям 10000 ... 15000 Н і формувати свердловину великим діаметром, наприклад 150–200 мм у суглинному ґрунті.
- Експериментальними дослідженнями підтверджено прийняті закономірності розробки горизонтальних свердловин гвинтовим робочим органом і встановлені силові параметри процесів зриву загвинчування ГПРО в масив ґрунту.
- Запропоновані математичні моделі процесів загвинчування Впро, а також утворення ущільненого ядра і зриву поступально-обертального руху ГПРО, адекватно описують реальні процеси.

### Література

- Шацкий А.С. О состоянии механизации трубопроводного строительства. Трубопроводный транспорт. М.: ОАО ВНИИСТ, №4. 2007. С. 10–14.
- Rudnev V.K., Suponiy V.N., Saenko N.V. at all. Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. Magazine of Civil Engineering. №2. 2015. С. 100–107. (Scopus, Web of Science)
- Kravets S., Suponev V., Rieznikov O. at all. Determination of the resistance of the cylindrical-tubular drill for trenchless laying of underground communications. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. № 3/7(93). 2018. С. 64–71. (Scopus)
- Volodymyr Suponyev, Olexander Posmituha, Svyatoslav Kravets, Volodymyr Suponyev and Kazimir Glavatsky1 Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil MATEC Web Conf. Volume 230, 2018. 7th International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings» (Transbud-2018) <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001011> (Scopus).
- Супонев В.Н., Каслин Н.Д., Олексин В.И. Бестраншейные технологии прокладки распределительных инженерных коммуникаций // Нау-

- ковий вісник будівництва. №499. 2008. С. 213–217.
6. Руднев В.К., Кравец С.В., Каслин Н.Д., Супонев В.Н. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций Харьков: ООО «Фавор», 2008. 56 с.
  7. Григорьев А.С. Обоснование выбора параметров продавливающих установок в зависимости от длины проходки // Сб. научных трудов ст-ов, магистров МГТУ, М., Выпуск 4, 2004. С. 133–136.
  8. Ромакин Н.Е., Малкова Н.В. Параметры рабочего инструмента для статического прокола грунта // Строительные и дорожные машины, № 11. 2007. С. 31–33.
  9. Земсков В.М., Судаков А.В. Анализ исследования лобового сопротивления при бестраншейной прокладке трубопроводов методом прокола // Известия ТулГУ. Серия: Подъемно-транспортные машины и оборудование. Тула: ТулГУ, Вып.6. 2005. С. 35–38.
  10. Гусев И.В., Чубаров Ф.Л. Применение управляемого прокола грунта при бестраншейной прокладке труб // Потенциал современной науки. № 2, 2014. С. 30–33.
  11. Кравець С.П., Супонев В.М., Балесний С.П. Встановлення реакцій ґрунту і величини відхилення від осевого руху при його проколі асиметричним наконечником. Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. Вып. 41. 2017. С. 155–163.
  12. Рогачёв А.А. Обоснование конструктивных параметров и режимов работы исполнительного органа управляемой прокалывающей установки: автореф. дис. на соискание учен. степ. канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины». Тула, 2007. 135 с.
  13. Ленченко В.В., Меньшина Е.В., Меньшин С.Е. Выбор рациональных параметров снаряда при направленной прокладке скважины // Доклад на симпозиуме «Неделя горняка – 2001». Семинар 20. М., МГУ 29 янв.- 2 фев.
  14. Супонев В.М., Балесний С.П. Рівняння траєкторії корекції руху головки в ґрунті та його експериментальна перевірка. Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування. Інтенсифікація робочих процесів будівельних та дорожніх машин. Серія: підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини і обладнання: сб. науч. пр. Придніпровської академії будівництва і архітектури. №107. 2019. С. 94–102. (Directory of Research Journals Indexing, Research Bib)
  15. Супонев В.М. Керування процесом корекції траєкторії руху робочого органу при статичному проколі ґрунту. Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. № 43. 2018. С. 125–131.
  16. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор Киев: Будівельник, 1985. 96 с.
  17. Железков В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства. СПб.: Прага, 2004. 128 с.
  18. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор: монография / Донецк: изд-во «Ноллидж». 2010. 179 с.
  19. Лебедев С.В. Обоснование оптимальных параметров винтовых анкеров и редуктора привода вращения. дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04/ Лебедев Сергей Владимирович. Новочеркасск. 2012. 206 с.
  20. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. М. Машиностроение. 1990. 368 с.

### References

1. SHackij A.S. O sostoyanii mekhanizacii truboprovodnogo stroitel'stva Truboprovodnij transport. M.: OAO VNIIST, №4. 2007. S. 10–14.
2. Rudnev V.K., Suponiyv V.N., Saenko N.V. at all. Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells. Magazine of Civil Engineering. №2. 2015. S. 100–107. (Scopus, Web of Science)
3. Kravets S., Suponev V., Rieznikov O. at all. Determination of the resistance of the cylindrical-tubular drill for trenchless laying of underground communications. Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij. № 3/7(93). 2018. S. 64–71. (Scopus)
4. Volodymyr Suponyev. Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil Olexander Posmituha, Svyatoslav Kravets, Volodymyr Suponyev and Kazimir Glavatsky1 MATEC Web Conf. Volume 230, 2018. 7th International Scientific Conference «Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings» (Transbud-2018) <https://doi.org/10.1051/matecconf/201823001011> (Scopus)
5. Suponev V.N., Kaslin N.D., Oleksin V.I. Bestransheyne tehnologii po-kladki raspredelitelnyih inzhenernyih kommunikatsiy // Naukoviy vіsник budivnitsva. №499. 2008. S. 213–217.
6. Rudnev V.K., Kravets S.V., Kaslin N.D., Suponev V.N. Mashiny dlya bestran-sheynoy prokladki podzemnyih kommunikatsiy Harkov: ООО «Favor», 2008. 56s.
7. Grigorev A.S. Obosnovanie vyibora parametrov prodavlivayuschih ustanovok v zavisimosti ot dlinyi prohodki // sb. nauchnyih trudov st-ov, magistrov MGGU, M., Vyipusk 4, 2004. С. 133–136.
8. Romakin N.E.. Malkova N.V Parametryi rabocheho instrumenta dlya staticheskogo prokola gruta // Stroitelnyie i do-rozhnyie mashinyi, №11. 2007. S. 31–33.
9. Zemskov V.M., Sudakov A.V. Analiz is-sledovaniya lobovogo soprotivleniya pri bestransheynoy prokladke tubo-provodov metodom prokola // Izvestiya TulGU. Seriya Pod'emno-transportnyie mashinyi i oborudovanie. Tula: TulGU, Vyip.6. 2005. S. 35–38.

10. Gusev I.V., Chubarov F.L. Primenenie upravlyаемого prokola grunta pri bes-transheyной prokladke trub / Potentsial sovremennoy nauki № 2, 2014. S. 30–33.
11. Kravets S.P., SuponEv V.M., Bales-niy S.P. Vstanovlennyya reaktsiy Gruntu I velichini vIdhilennyya vId osovogo ruhu pri yogo prokoll asimetrichnim nako-nechnikom. Avtomobilniyy transport: sb. nauch. tr. Vyip. 41. 2017. S. 155–163.
12. RogachYov A.A. Obosnovanie konstruk-tivnyih parametrov i rezhimov raboty ispolnitelnogo organa upravlyаемой prokalyivayushey ustanovki: avtoref. dis. na soiskanie nauch. stepeni kand. teh. nauk: spets. 05.05.06 «Gornyye ma-shiny». Tula, 2007. 135 s.
13. Lenchenko V.V., Menshina E.V., Menshin S.E. Vyibor ratsionalnyih para-metrov snaryada pri napravlennoy prokladke skvazhiny // Doklad na simpozi-ume «Nedelya gornyaka – 2001». Seminar 20. M., MGU 29 yanv - 2 fev.
14. Suponev V.M., Balesniy S.P. Rivnyannya traektoriyi korektsiyi ruhu golovki v gruntі ta yogo eksperimentalna perevІrka. Budivnitstvo. MaterІaloznavstvo. Ma-shinobuduvannya. Intensifikatsiya robo-chih protsesІv budІvelnih ta dorozhnІh mashin. SerІya: pidyomno-transportni, budivelni, dorozhni mashini i oblad-nannya: sb. nauk. pr. Pridniprovskoyi akademiyi budivnitstva i arhitekturi. №107. 2019. S. 94–102. (Directory of Research Journals Indexing, Research Bib)
15. Suponev V.M. Keruvannya protsesom ko-rektsiyi traektoriyi ruhu robochogo organu pri statichnomu prokoli gruntu. Avto-mobilniyy transport: sb. nauch. tr. №43. 2018. S. 125–131.
16. Penchuk V.A. Vintovyye svai i ankera dlya opor Kiev: BudІvelnik, 1985. 96 s.
17. Zhelezkov V.N. Vintovyye svai v energe-ticheskoy i drugih otraslyah stroitel-stva SPb.: Pragma, 2004. 128 s.
18. Penchuk V.A. Vintovyye svai i ankera dlya opor: monografiya / Donetsk: izd-vo «Noulidzh». 2010. 179 s.
19. Lebedev S.V. Obosnovanie optimal-nyih parametrov vintovyyih ankerov i reduktora privoda vrascheniya. diss. ... kand. tehn. nauk: 05.05.04/ Lebedev Ser-gey Vladimirovich. Novochoerkassk. 2012. 206 s.
20. Fedorov D.I. Rabochie organyi zemle-royniy mashin // M. Mashinostroenie. 1990. 368 s.

**Супонєв Володимир Миколайович**<sup>1</sup>, д.т.н., професор кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, [v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net), тел.: +38050-30-199-58,

**Рагулін Віталій Миколайович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net), тел.: +38-050-545-80-70,

**Вівчар Станіслав Михайлович**<sup>2</sup>, інженер СКТБ "Гідромодуль", [stanislav.vivchar@ukr.net](mailto:stanislav.vivchar@ukr.net), тел.: +38-066-797-69-21,

**Орел Олександр Володимирович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, [oav1980@gmail.com](mailto:oav1980@gmail.com), тел.: +380677019864

**Олейнікова Олександра Михайлівна**<sup>1</sup>, к.т.н., асистент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, тел.: +38095-884-92-83, [olexandrachaplygina@gmail.com](mailto:olexandrachaplygina@gmail.com)

**Ковалевський Сергій Германович**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, [2407180@ukr.net](mailto:2407180@ukr.net), тел.: +38097-240-71-80,

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

<sup>2</sup>ТОВ СКТБ "Гідромодуль", вул. Киргизьська, 19д, м. Харків, Україна, 61105.

### **Determination of the maximum traction force of the screw working body when piercing the soil**

**Abstract. Problem.** Laying of gas distribution pipelines, water mains, sewerage systems, power cables and communication cables is performed both by laying it in an open trench and by trenchless methods. **Goal.** Given the increasing trends in the construction and repair of crossings under roads and tram tracks, especially in tight urban conditions, where traffic jams can lead to increased social problems for the population and additional economic costs and other inconveniences, trenchless technologies of underground communications are undeniable. **Methodology.** In the given researches work of screw tips of piles and anchor fastenings as a traction working body for formation of horizontally directed wells in soils at trenchless laying of engineering communications is not considered. One of the main advantages of such a screw working body is that the axial pressure on the ground piercing head with rods is absent. Therefore, the loss of stability of the rods when they are compressed will not occur, and accordingly will not affect its course movement of the head in the ground. In addition, the power plant will only have a rotating drive, which makes it simpler and more compact. The conditions of stable movement of the screw working body and its termination are revealed in the work. The calculations established the dependences of the moment and force of soil resistance in accordance with the parameters of the blades of the working body and the diameter of the well depending on the physical and mechanical properties of the soil. **Results.** It is established that when creating a well with a diameter of 63 mm with a single-bladed screw with a diameter of 100 mm in the loam has a maximum traction force of 400 N, and with a blade diameter of 250 mm 7000 N. This value corresponds to torques of 600 and 1100Nm. Which means that in the second case, you can additionally use a conical expander and increase the diameter of the puncture in one pass, for example up to 150 mm. **Practical meaning.** Experimental studies have determined the patterns of processes occurring during the operation



of the screw working body and confirmed the calculated data, which have a convergence of 10-15%, which confirms the adequacy of their dependencies.

**Key words:** soil puncture, physical and mechanical properties of soil, engineering communications, screw working body, screw blade, resistance force, well formation.

**Vladimir Suponyev**<sup>1</sup>, DSci (Engineering), Professor Department of Construction and Road-Building Machinery,

[v-suponev@ukr.net](mailto:v-suponev@ukr.net), tel.: +38050-30-199-58,

**Vitaliy Ragulin**<sup>1</sup>, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net), tel.: +38-050-545-80-70,

**Stanislav Vivchar**<sup>2</sup>, engineer,

[stanislav.vivchar@ukr.net](mailto:stanislav.vivchar@ukr.net), tel.: +38-066-797-69-21,

**Oleksandr Orel**<sup>1</sup>, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, [oav1980@gmail.com](mailto:oav1980@gmail.com), tel.: +380677019864

**Oleksandra Olieinikova**<sup>1</sup>, PhD, Lecturer at the Department of Construction and Road-Building Machinery, tel.: +38095-884-92-83,

[olexandrachaplygina@gmail.com](mailto:olexandrachaplygina@gmail.com)

**Serhii Kovalevskyi**<sup>1</sup>, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, [2407180@ukr.net](mailto:2407180@ukr.net), tel.: +38097-240-71-80.

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University Yaroslava Mudrogo str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002

<sup>2</sup>TOV SKTB "Gidromodul", Kirgizska str., 19d, Kharkiv, Ukraine, 61105.