

**ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ТА ОПОРУ ПЕРЕМІЩЕННЯ  
В ҐРУНТІ РОБОЧОГО ОБЛАДНАННЯ НОЖОВОГО ТРУБОЗАГЛИБЛЮВАЧА**

© Супонев В.М., Рагулін В.М., Розенфельд М.В.

*Харківський національний автомобільний-дорожній університет***Інформація про авторів:**

**Супонев Володимир Миколайович:** ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7404-6691>; [y-suponev@ukr.net](mailto:y-suponev@ukr.net), доктор технічних наук, професор кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова, Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

**Рагулін Віталій Миколайович:** ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2083-4937>; [ragulinrvn@ukr.net](mailto:ragulinrvn@ukr.net), тел.: +38-050-545-80-70; кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

**Розенфельд Микола Володимирович:** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6397-7319>, [kr426571@gmail.com](mailto:kr426571@gmail.com), тел.: +38-068-618-05-84; асистент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А. М. Холодова; Харківський національний автомобільно-дорожній університет; вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Одним з найбільш ефективних способів прокладання підземних трубопроводів є метод заглиблення, коли за допомогою плужно-ножового робочого органу та трубоукладального обладнання труба опускається в ґрунт на потрібну відмітку без утворення траншеї, а, відповідно, і без її засипання та рекультивації родючого шару ґрунту. Особливістю процесу є великий опір під час глибокого різання ґрунту ножовим робочим органом, що вимагає значних тяглових зусиль від базової машини. Витрати на переміщення трубоукладального обладнання, яке призначене на укладання трубопроводу на визначену глибину вимагають додаткових зусиль, які треба враховувати. Також слід враховувати конструкційні розміри укладального обладнання, яке визначається величиною прогину трубопроводу та його жорсткістю.

В роботі пропонується методика розрахунку конструктивних та технологічних параметрів обладнання для прокладання розподільних лінійно протяжних трубопроводів, яке відбувається безтраншейним методом шляхом їх заглиблення ножовим трубозаглиблювачем. В розрахунках для визначення сил опору ґрунту враховані, як розміри обладнання, яке визначається жорсткістю труби, що прокладається, так і фізико-механічні властивості ґрунтів, які розробляються. Також вирішується задача по зменшенню розмірів трубоукладального обладнання, а відповідно і сил опору при його переміщенню в ґрунті. Відбувається це скороченням довжини прогину трубопроводного батогу шляхом примусового притиснення труби у межах її допустимого напруження у місті перегину. Зниження сили опору на переміщення трубоукладального обладнання може досягати 40 відсотків. У загальному балансі ця складова складатиме до 10 відсотків.

Результати проведених досліджень можуть бути застосовані при створенні спеціальних машин для безтраншейного прокладання розподільних трубопроводних мереж для постачання води, газу, продуктопроводів та інше.

**Ключові слова:** розподільні газопроводи, безтраншейна технологія, поліетиленові труби, ножове робоче обладнання, глибоке різання ґрунту.

*Suponev V., Ragulin V., Rozenfeld N.* "Determining the structural parameters and forces of resistance to movement in the soil of the working equipment of the knife pipe dredger"

One of the most effective methods of laying underground pipelines is the deepening method, when, with the help of a plow-knife working body and pipe-laying equipment, the pipe is lowered into the soil to the required mark without the formation of a trench, and, accordingly, without its filling and reclamation of the fertile soil layer. A feature of the process is the high resistance during deep cutting of the soil by the knife working body, which requires significant traction efforts from the base machine. The costs of moving the pipe-laying equipment, which is designed to lay the pipeline at a certain depth, require additional efforts that must be taken into account. It is also necessary to take into account the structural dimensions of the laying equipment, which is determined by the amount of deflection of the pipeline and its stiffness.

The work proposes a method for calculating the structural and technological parameters of the equipment for laying distribution linearly extended pipelines, which is carried out by the trenchless method by deepening them with a knife pipe sinker. Calculations to determine the resistance forces of the soil take into account both the size of the equipment, which is determined by the rigidity of the pipe being laid, and the physical and mechanical properties of the soils being developed. The task of reducing the size of the pipe-laying equipment and, accordingly, the resistance forces during its movement in the soil is also being solved. This happens by reducing the length of the bend of the pipeline whip by forcibly pressing the pipe within the limits of its permissible stress in the bend. The reduction of resistance to the movement of pipe-laying equipment can reach 40 percent. In the total balance, this component will make up to 10 percent.

The results of the conducted research can be applied in the creation of special machines for trenchless laying of distribution pipeline networks for the supply of water, gas, food pipelines, etc.

**Keywords:** gas distribution pipelines, trenchless technology, polyethylene pipes, knife working equipment, deep cutting of soil.

### **Огляд літературних джерел**

Сучасний розвиток технологій підземного прокладання інженерних комунікацій базується на активному впровадженні впровадження в даний час поліетиленових труб, які все частіше застосовуються замість сталевих. Особливо це стосується безтраншейних технологій будівництва [1]. Одним з таких є метод заглиблення, який найбільш є ефективніший при прокладанні розподільчих газопроводів, водопроводів, продуктопроводів та інше, які відносяться до міжселищних мереж та мають незначні розміри діаметру труб, які містяться в межах 65-225 мм [2, 3].

Сучасний стан технологій прокладання інженерних мереж та їх удосконалення розглядається в роботах

Ефективність сучасних безтраншейних технологій та їх обчислювання доведена у роботах [4-6].

Тенденціям безтраншейного розвитку технологій та машин для безтраншейного прокладання підземних комунікацій присвячені роботи [7,8].

З проведених попередніх досліджень з прокладання кабельних ліній електричних мереж та зв'язку було встановлено, що найбільші енергетичні витрати при цьому процесі націлені на подолання сил глибокого різання ґрунту ножовим робочим органом [9-12]. Сила опору переміщення обладнання для укладання кабелю у прорізаний ґрунт у загальному обсязі є незначною, та складає менш ніж 3-4 % [13].

Характерною особливістю прокладання трубопроводів є те, що вони мають значні розміри прогину, які визначаються жорсткістю труб, яка в свою чергу визначається її розмірами та механічними властивостями. Відповідно до прогину необхідно потрібно мати

більші розміри трубоукладального обладнання, яке призначено для підтримки стінок створеної ножовим робочим органом щілини в ґрунті на протязі її опускання до встановленої глибини [14].

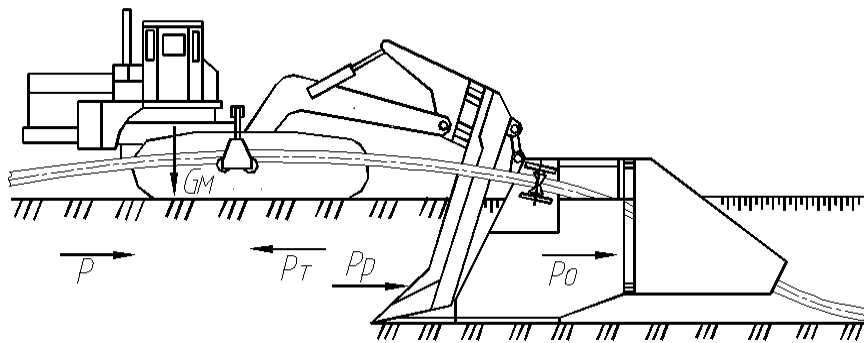
Таким чином конструктивні параметри та взаємодія з ґрунтом трубоукладального обладнання при укладанні жорстких трубопроводів вимагає окремого розгляду з урахуванням специфіки як самої труби, так і вимог до процесу, що пред'являються трасовими умовами: великі лінійно-протяжні ділянки, нерівності рельєфу місцевості, вигини траси та ін.

### Мета дослідження

Метою роботи є встановлення конструктивних параметрів та закономірностей взаємодії з ґрунтом трубоукладального обладнання трубозаглиблювача, який призначений для безтраншейного прокладання міжселищних та розподільних трубопроводів діаметром 75÷225мм методом заглиблювання.

### Основна частина

Процес розробки ґрунту при заглибленні трубопроводу складається з двох етапів: різання ґрунту ножовим робочим органом та протягування в ньому трубоукладального пристрою, який пояснюється рисунком 1.



**Рис. 1** – Конструктивна схема ножового трубозаглиблювача для безтраншейного прокладання трубопроводів методом їх заглиблювання та дія сил на робоче обладнання машини

Вихідними даними для визначення основних параметрів робочого обладнання трубозаглиблювача відповідно до особливостей процесу його роботи (рис.1) є: діаметр труби, що укладається, величина її заглиблення (під заглибленням труби розуміється відстань від денної поверхні ґрунту до верху труби), фізико-механічні властивості ґрунту .

Для здійснення робочого процесу прокладання газопроводів методом заглиблення необхідно виконання наступної умови:

$$T \geq (G + G_0)(f + i) + P_p + P_0, \quad (1)$$

де  $G$  - вага машини;

$G_0$  - вага робочого устаткування;

$f, i$  - відповідно коефіцієнт опору коченню та величина ухилу;

$P_p, P_0$  - відповідно зусилля різання ґрунту ножом та зусилля протягування робочого обладнання.

Тягове зусилля машини визначається її вагою та її зчепленням з ґрунтом, та являє собою:

$$T = \psi G_{\text{цл}}, \quad (2)$$

де  $\psi$  - коефіцієнт зчеплення рушія з ґрунтом;

$G_{\text{цл}}$  - зчїпна вага машини, для машин з гусеничним рушієм. На основі залежностей (1) та (2) можна записати вираз балансу сил у наступному вигляді

$$(G + G_0)(\psi - f - i) \geq P = P_p + P_0. \quad (3)$$

Ліва частина співвідношення (3) визначає вільне тягове зусилля на гаку машини.

Відповідно до нормативів України [2, 3] поліетиленові газопроводи слід укладати на глибину 0,8м, а водогони повинні заглиблюватися нижче глибини промерзання, яка в деяких регіонах України можуть досягати до 1,4 м. Найбільш поширеним типом ґрунтів можна вважати суглинок II-III категорії міцності [15]. Це умови було покладено в основу подальших розрахунків.

Виходячи з попередніх досліджень та рекомендацій по створенню ножових машин для розрахунків можна прийняти наступні параметри ножа:

$\alpha$  - кут різання, 30 °, град.,

$b$  - ширина ножа,

$H$  - глибина різання.

Ширина ножа визначається розміром щілини необхідною для вільного просування трубоукладального обладнання в ґрунті, яке у свою чергу визначається вільним опусканням трубопроводу, та може бути прийнятою

$$v = v_0 + \delta, \text{ м}, \quad (4)$$

$$v_0 = d + 0,05, \text{ м}, \quad (5)$$

де  $v_0$  - ширина обладнання для заглиблення труби;

$\delta$  - зазор між стінками обладнання для заглиблення труби та ущільненими стінками щілини в ґрунті.

Величина зазору відповідає пружній деформації ущільненого ґрунту і відповідно до роботи [3] для умов, що розглядаються, може бути визначена за формулою

$$\delta = 0,055 \cdot 10^{-3} q_K v_0, \text{ м}, \quad (6)$$

де  $q_K$  - величина питомого лобового тиску ґрунту за критичною глибиною різання, що дорівнює

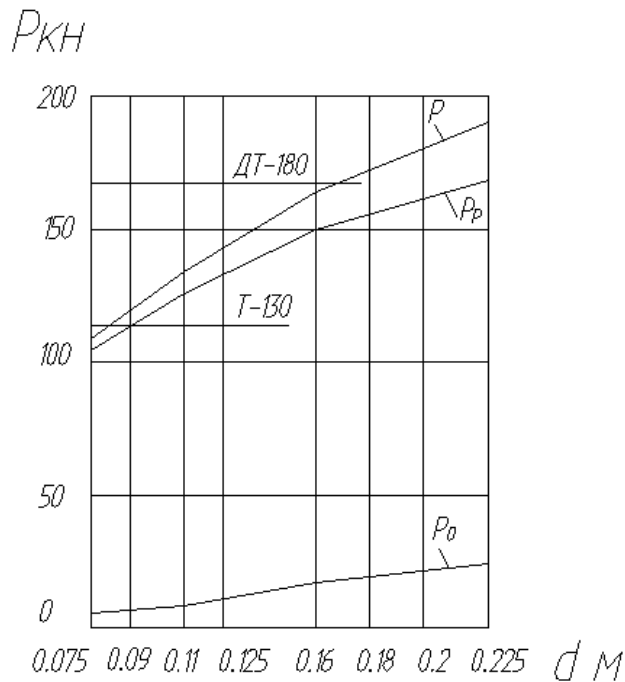
$$q_K = 260h + 65,6v_0 + 626, \text{ кПа}; \quad (7)$$

$$h = 0,5(0,8 + d + 2,32v_0), \text{ м}. \quad (8)$$

Глибина різання ґрунту

$$H = 0,8 + d, \text{ м}. \quad (9)$$

Проведеними теоретичними дослідженнями виявлено закономірність сил опору розробки ґрунту за умов укладання розподільних газопроводів діаметрів поліетиленових труб у діапазоні до 225мм у ґрунтах III категорії міцності (рис.2). Обробка методами



**Рис. 2** – Залежності величин опору розробки ґрунту від діаметра труби, що укладається при її заглибленні на 0,8м в ґрунтах III категорії:  $P$  – сумарне значення опору розробки ґрунту;  $P_p$  – опір різання ґрунту ножовим робочим органом;  $P_0$  – опір протягування в ґрунті трубоукладального обладнання

математичної статистики представлених залежностей дозволила отримати наступне рівняння регресії для визначення сумарного опору розробки ґрунту трубозаглиблювачем:

$$P = 43,67 + 0,905d - 0,0011d^2, \text{ кН}, \quad (10)$$

де  $d$  - діаметр труби, мм.

Зусилля опору різання ґрунту ножом при цьому визначається рівністю

$$P_p = 0,56 \left[ 3,04 H_{KP} (14,8 H_{KP}^2 + 11,5 H_{KP} v + 3v^2) + 31,2 (H_{KP}^2 + H_{KP} v) \right] + 2,28 H_{KP}^2 + 1,68 (0,8 - H_{KP}) v P, \quad \text{кН}, \quad (11)$$

де  $H_{KP}$  - критична глибина різання, для суглинку III категорії міцності дорівнює:

$$H_{KP} = 2,32v, \text{ м.}$$

Зусилля протягування обладнання для заглиблення труби:

$$P_0 = 0,157 \frac{qL_T^5}{EI} H_T + 15,35v \frac{L_T}{L_T} \left( H_T L_T - 1,9 \cdot 10^{-2} \frac{qL_T^5}{EI} \right), \text{ кН.} \quad (12)$$

$$H_T = 0,8 + 0,3H_{KP}, \text{ м,} \quad (13)$$

де  $q, E, I$  - відповідно погонний вага труби кН/м, модуль пружності кН/м<sup>2</sup> і момент інерції м<sup>4</sup>.

Рівняння (10) справедлива для труб діаметром 75÷225мм при прокладанні труб у ґрунтах III категорії міцності.

За величиною даного зусилля підбирається тяговий засіб для трубнозаглиблювача. Відповідно до рис.1 для укладання труб діаметром до 90мм може бути використаний трактор Т-130, діаметром до 180мм – трактор Т-180, діаметром до 225мм – трактор Комацу Д-355, універсальне шасі УШ-16 тощо. Вимоги до тягового засобу можуть бути знижені, залежно від організації робіт:

- використанням додаткового трактора з якірною лебідкою;
- буксирування трубнозаглиблювача іншим трактором;
- попередньою нарізкою щілини по трасі газопроводу.

Основними параметрами обладнання для заглиблення труби є:

- Висота обладнання;
- Довжина обладнання;
- Ширина обладнання.

Висота обладнання від низу до верхніх роликів може бути визначена рівняннями (8) та (9).

$$H_T = H + h_n, \quad (14)$$

де  $H$  - Глибина укладання труби визначається умовою (6);

$h_n$  - висота підйому ґрунту над поверхнею різання його ножом, (рис.3), дорівнює, (15):

$$h_n = (K_p - 1)H_k, \quad (15)$$

де  $H_k$  - критична глибина різання.

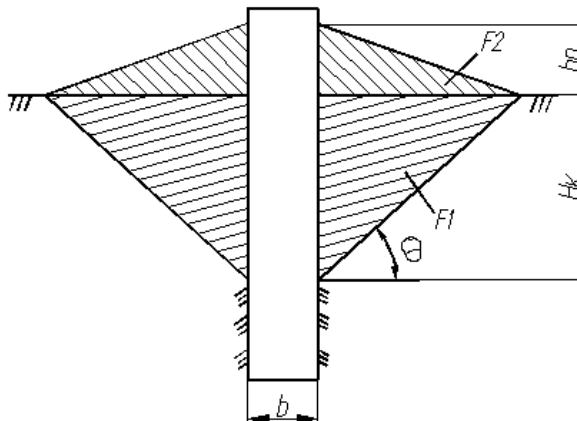


Рис. 3 – Схема до розрахунку висоти підйому розпушеного ґрунту

З урахуванням даних експериментальних досліджень необхідна формула набуде вигляду.

$$H_T = 0,8 + d + 1,1e_0, \text{ м.} \quad (16)$$

Довжина прогину труби при вільному провисанні визначається рівністю

$$L_T = \sqrt[4]{\frac{24EIH_T}{q}}, \quad (17)$$

де  $I$  - момент інерції перерізу труби,  $\text{м}^4$ ;

$E$  - модуль пружності, для поліетиленових труб,  $700 \cdot 10^3$  КПа;

$q$  - погонна вага труби, кН/м.

Довжина обладнання може бути прийнята рівною величиною.

Довжину обладнання можна суттєво скоротити установкою притискних роликів при дотриманні вимог, які пред'являються до гранично допустимого радіусу згину труби [14]:

$$R \geq 30d, \quad (18)$$

Ця умова дійсна при температурі зовнішньої поверхні труби не вище 20°C.

З урахуванням викладеного прораховано значення довжини провисання труби  $L_T$  в обладнанні з притискними роликами. Дані розрахунків наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Дані прогину труби в устаткуванні з притискними роликами

Найменування величини	Діаметр труби, мм								
	75	90	110	125	140	160	180	200	225
Товщина стінки труби, мм	6,8	8,2	10	11,4	12,7	14,6	16,4	18,2	20,5
Довжина прогину труби при вільному провисанні, $L_T$ , м	5,68	6,20	6,93	7,43	7,92	8,54	9,15	9,72	10,4
Довжина прогину труби в устаткуванні з притискними роликами, $L_T$ , м	3,5	3,76	4,26	4,62	4,96	5,43	5,88	6,33	6,88

Для здійснення поворотів газопроводу по трасі обладнання для заглиблення труб необхідно виготовляти із шарнірно-зчленованих секцій. Число секцій  $n$  може бути визначено за рівнянням:

$$n = \frac{L_{T1}}{2,8\sqrt{R_n \delta}}, \quad (19)$$

де  $R_n$  - радіус повороту газопроводу трасою в горизонтальній площині.

Згідно з поданими розрахунками, трубоукладальне обладнання доцільно виготовляти у вигляді конструкції, що складається з 2-3 секцій.

У запропонованій розрахунковій залежності (12) закладено умову утворення прогину трубопроводу при мінімальній висоті його підйому, що є важливою вимогою для збереження в трубі мінімальної напруги при її укладанні. Однак ця умова не завжди реалізована, оскільки визначається конструктивними особливостями машин і обраними схемами укладання труби (рис.4). У цьому випадку профіль обладнання може бути визначений рівнянням (20).

$$y = \frac{qx^2}{24EI} (2L_T^2 - x^2), \quad (20)$$

Де  $x$ ,  $y$  – координати прогину трубопроводу, що визначають конструктивні розміри трубоукладального обладнання залежно від схеми розташування щодо тягового засобу (рис.4).

Викладене дозволяє визначити параметри робочого устаткування трубозаглиблювача, які необхідні для його проектування.

У практиці запропонована методика розрахунку параметрів обладнання була реалізована під час створення трубозаглиблювача для прокладання розподільних газопроводів із поліетиленових труб на базі універсального тракторного шасі УШ-16. Випробування експериментального зразка машини проводилися на науково-дослідному полігоні ХНАДУ. Машина була розрахована на прокладання поліетиленової труби діаметром 160мм та мала такі технічні характеристики:

- тягове зусилля базової машини – 30,6 т;
- максимальна глибина прокладки – до 1,4 м;



**Рис. 4** – Укладання поліетиленового газопроводу  $\varnothing 160\text{мм}$  ножовим трубозаглиблювачем на базі уніфікованого шасі УШ-16

- схема подачі труби – збоку трактора;
- тип ґрунту, що розробляється - суглинок II-III категорії міцності;
- ширина ножового робочого органу – 0,215 м;
- ширина обладнання для укладання – 0,2 м;
- довжина обладнання для укладання – 6 м;
- кількість секцій – 2;
- радіус повороту траси – не менше 114 м;
- технічна продуктивність – 2-3 км/год.

Таким чином, теоретичне обґрунтування параметрів обладнання та інженерний метод тягового розрахунку трубозаглиблювача отримали експериментальне підтвердження та можуть бути рекомендовані для впровадження при створенні машин для швидкісного прокладання розподільних газопроводів за прогресивною технологією методом заглиблення.

### Висновки

Виконано обґрунтування параметрів трубозаглиблювального обладнання, визначених діаметром труби, її фізико-механічними властивостями, а також ґрунтовими умовами та схемою укладання. Використання притискних роликів зменшує довжину обладнання за допустимих радіусів вигину поліетиленових труб на 33-39%. Виконання поворотів газопроводів на трасі забезпечується виготовленням трубозаглиблювального обладнання з 2÷3 шарнірно з'єднаних секцій. Основні теоретичні положення роботи отримали практичне підтвердження дослідною експлуатацією натурального зразка трубозаглиблювача на базі уніфікованого шасі УШ-16.

### Список використаних джерел:

1. Машини для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций: учеб. пособие / С. В. Кравец [и др.]. – Харьков : Фавор, 2008. – 256 с.
2. Правила безпеки систем газопостачання України : ДНАОП 0.00-1.20-98 : затвердж. Державним комітетом України по нагляду за охороною праці 01.10.97 : початок дії з 01.10.1997. – Київ : УкрНДІінжпроект, 1998. – 368 с.
3. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень : ДБН 360-92\*\*. – [Зі змінами документ актуальний від 2017-07-01]. – Київ : Держбуд України, 1992. – 137 с.
4. Najafi M. Trenchless technology piping. Installation and inspection / M. Najafi. – Alexandria : ASCEpress, WEF Press Water Environment Federation, 2010. – 482 с.
5. Xin J. Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology [Electronic resource] / J. Xin // International Conference on Pipelines and Trenchless Technology. – 2014. – Access mode: <https://doi.org/10.1061/9780784413821.051> (Last accessed: 10/10/2022).



6. Allouche E. N. State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations [Electronic resource] / E. N. Allouche, S. T. Ariaratnam. – Access mode: [https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55) (Last accessed: 10/10/2022).
7. Супонев В. М. Тенденции развития технологий и оборудования для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций в городских условиях [Электронный ресурс] / В. М. Супонев, С. М. Вивчар, С. П. Балесный // *Наукові вісті Давіського університету*. – 2017. – № 12. – Режим доступа: [http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017\\_12\\_8.pdf](http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017_12_8.pdf) (дата обращения: 22.10.2022 р.)
8. Soil thrust boring plant of static action with ring spacers of horizontal wells / V. K. Rudnev [et al.] // *Magazine of Civil Engineering*. – 2015. – № 2. – С. 100–107.
9. Кравець С. В. Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв: монографія / С. В. Кравець, В. В. Кованько, О. П. Лукянчук. – Рівне : НУВГП, 2015. – 322 с.
10. Васильев С. Г. Подземное строительство неглубокого заложения / С. Г. Васильев. – Львов : Вища школа, 1980. – 144 с.
11. 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.
12. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. – М. : Машиностроение, 1971. – 359 с.
13. Полимеры в газоснабжении : справочник / В. Е. Удовенко [и др.]. – М. : Машиностроение, 1998. – 856 с.
14. Зеленин А. Н. Наиболее представительные грунты по трудности их экскавации на территории СССР / А. Н. Зеленин // *Исследование рабочих процессов дорожно-строительных машин : труды МАДИ*. – 1974. – Вып. 78. – С. 8–13.

#### Referens

1. Kravec, SV, Rudnev, VK, Kaslin, ND & Suponev, VN 2008, *Mashiny dlya bestranshejnoj prokladki podzemnyh kommunikacij*, Favor, Harkov.
2. Proektnyi ta naukovo-doslidnyi instytut po hazopostachanniu, teplopостachanniu ta kompleksnomu blahoustroiu mist i selyshch Ukrainy 1998, *Pravila bezpeki sistem gazopostachannya Ukrayini*, DNAOP 0.00-1.20-98, UkrNDIinzhpriekt, Kyiv.
3. Derzhbud Ukrayini 1992, *Mistobuduvannya. Planuvannya i zabudova miskih i silskih poselen DBN 360-92\*\**, [Zi zminami dokument aktualnij vid 2017-07-01], Derzhbud Ukrayini, Kyiv.
4. Najafi, 2010, *Trenchless technology piping. Installation and inspection*, ASCEpress, WEF Press Water Environment Federation Alexandria, Virginia.
5. Xin, J 2014, 'Application of Trenchless Pipeline Rehabilitation Technology', *International Conference on Pipelines and Trenchless Technology*, viewed 10/10/2022, <<https://doi.org/10.1061/9780784413821.051>>.
6. Allouche, EN & Ariaratnam, ST 2012, *State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations*, viewed 10/10/2022, <[https://doi.org/10.1061/40641\(2002\)55](https://doi.org/10.1061/40641(2002)55)>.
7. Suponyev, VM, Vivchar, SM & Balesnyj, SP 2017, 'Tendencii razvitiya tehnologij i oborudovaniya dlya bestranshejnoj prokladki podzemnyh kommunikacij v gorodskih usloviyah', *Naukovi visti Dalivskogo universitetu*, no. 12, viewed 22.10.2022, <[http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017\\_12\\_8.pdf](http://nvdu.snu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/2017_12_8.pdf)>.
8. Rudnev, VK, Suponiyv, VN, Saenko, NV 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.
9. Kravec, SV, Kovanko, VV & Lukyanchuk, OP 2015, *Naukovi osnovi stvorenniya zemlerijno-yarusnih mashin i pidzemnорухомih pristroyiv*, Natsionalnyi universytet vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia, Rivne.
10. Vasilev, SG 1980, *Podzemnoe stroitelstvo neglubokogo zalozheniya*, Visha shkola, Lvov.
11. Poltavcev, IS, Orlov, VB & Lyahovich, IF 1977, *Specialnye zemlerojnye mashiny i mehanizmy dlya gorodskogo stroitelstva*, Budivel'nik, Kyiv.
12. Vetrov, YuA 1971, *Rezanie gruntov zemlerojnymi mashinami*, Mashinostroenie, Moskva.
13. Udoenko, VE, Gvozdev, IV, Karnauh, IM et al. 1974, *Polimery v gazosnabzhenii*, Mashinostroenie, Moskva.
14. Zelenin, AN 1974, 'Naibolee predstavitelnye grunty po trudnosti ih ekskavacii na territorii SSSR', *Issledovanie rabochih processov dorozhno-stroitelnyh mashin*, iss. 78, pp. 8-13.

Стаття надійшла до редакції 26 січня 2023 року