

УДК 621.8

Коротков Є.М. «Аналіз вдосконалення робочого органу кабелеукладача при безтраншейному прокладанні кабелю»

В статті розглядаються питання конструкції робочого органу кабелеукладача при прокладанні кабелю безтраншейним способом. Проведено аналіз по вдосконаленню робочого органу кабелеукладача та основні переваги безтраншейної прокладки кабелів.

Безтраншейна укладка кабелю в ґрунт – це ефективна технологія, яка надає можливість не руйнувати верхній шар ґрунту під час проведення підземних робіт. Завдяки цьому зникає необхідність перекривати дороги, порушувати цілісність існуючих комунікацій, знищувати насадження.

Безтраншейна технологія прокладання кабелю дозволяє не тільки зменшувати матеріальні витрати, але і скорочувати час виконання робіт. Тривалість укладки кабелю буде залежати від таких факторів, як перешкоди у вигляді доріг, автомагістралей, будівельних об'єктів. Завданням безтраншейної прокладки є: прокладка мереж водопостачання, каналізації, газопроводу; прокладка кабелів електропостачання, телефонних і оптоволоконних кабельних ліній зв'язку та сигналізації; заміна зношених комунікацій на нові; прокладка каналізації будь-якого виду.

Також в статті висвітлено аналіз вдосконалення конструкції кабелеукладачів з активними землерийними робочими органами (ЗРО), принцип дії яких заснований на безтраншейному способі, які також мають обмежену швидкість робочого руху та відносну швидкість робочого органу, складність конструкції та низьку експлуатаційну надійність.

Аналіз вітчизняних і закордонних конструкцій безтраншейних укладачів показав, що в практиці будівництва підземних комунікацій застосовують більше 60 моделей машин з різноманітними землерийними робочими органами за формою робочої поверхні, які по різному впливають на ґрунтове середовище.

За даними попередніх досліджень найперспективнішими є безтраншейні причіпні кабелеукладачі з пасивним землерийними робочими органами. Однак, незважаючи на вказані переваги, безтраншейний спосіб будівництва ще не набув широкого розповсюдження. Це пояснюється тим, що традиційні робочі органи безтраншейних укладачів працюють за принципом розрізання і запресування ґрунту в стінки щілини, що нарізається.

Ключові слова: кабелеукладач, безтраншейний спосіб, землерийний робочий орган, кабель, ґрунт, опір переміщення.

Коротков Е.Н. «Анализ совершенствования рабочего органа кабелеукладчика при бестраншейной прокладке кабеля»

В статье рассматриваются вопросы конструкции рабочего органа кабелеукладчика при прокладке кабеля бестраншейным способом. Проведен анализ по совершенствованию рабочего органа кабелеукладчика и основные преимущества бестраншейной прокладки кабелей.

Бестраншейная укладка кабеля в ґрунт - это эффективная технология, которая позволяет не разрушать верхний слой почвы при проведении подземных работ. Благодаря этому отпадает необходимость перекрывать дороги, нарушать целостность существующих коммуникаций, уничтожать насаждения.

Бестраншейная технология прокладки кабеля позволяет не только уменьшать материальные затраты, но и сокращать время выполнения работ. Продолжительность укладки кабеля будет зависеть от таких факторов, как препятствия в виде дорог, автомагистралей, строительных объектов. Задачей бестраншейной прокладки являются: прокладка сетей водоснабжения, канализации, газопровода; прокладка кабелей электроснабжения, телефонных и оптоволоконных кабельных линий связи и сигнализации; замена изношенных коммуникаций на новые; прокладка канализации любого вида.

Также в статье освещен анализ совершенствования конструкции кабелеукладчиков с активными землеройными рабочими органами (ЗРО), принцип действия которых основан на бестраншейном способе, который также имеет ограниченную скорость рабочего движения и относительную скорость рабочего органа, сложность конструкции и низкую эксплуатационную надежность.

Анализ отечественных и зарубежных конструкций бестраншейных укладчиков показал, что в практике строительства подземных коммуникаций применяют более 60 моделей машин с различными землеройными рабочими органами по форме рабочей поверхности, которые по-разному влияют на ґрунтовую среду.

По данным предыдущих исследований перспективными являются бестраншейные причепные кабелеукладчики с пассивным землеройными рабочими органами. Однако, несмотря на указанные преимущества, бестраншейный способ строительства еще не получил широкого распространения. Это

объясняется тем, что традиционные рабочие органы бестраншейных составителей работают по принципу разрезания и запрессовки почвы в стенки щели, что нарезается.

Ключевые слова: кабелеукладчик, бестраншейный способ, землеройный рабочий орган, кабель, почва, сопротивление перемещения.

Korotkov E. "Analysis of the improvement of the working body of the cable-layer during trenchless cable laying"

The article considers the design of the working body of the cable-layer when laying the cable in a trenchless way. The analysis on improvement of a working body of the cable-layer and the main advantages of trenchless laying of cables is carried out.

Trenchless cable laying in the ground is an effective technology that allows not to destroy the top layer of soil during underground works. Due to this, the need to block roads, disrupt the integrity of existing communications, destroy plantations disappears.

Trenchless cable technology allows not only to reduce material costs, but also to reduce the time of work. The length of the cable will depend on factors such as obstacles in the form of roads, highways, construction sites. The task of trenchless laying is: laying of water supply, sewerage, gas pipelines; laying of power supply cables, telephone and fiber-optic cable communication and alarm lines; replacement of worn-out communications with new ones; laying of the sewerage of any kind.

The article also covers the analysis of the improvement of the design of cable-laying with active earthmoving working bodies (ZRO), the principle of which is based on the trenchless method, which also have limited working speed and relative working speed, design complexity and low operational reliability.

The analysis of domestic and foreign constructions of trenchless pavers showed that in the practice of construction of underground communications more than 60 models of machines with various earthmoving working bodies are used in the shape of the working surface, which differently affect the soil environment.

According to previous studies, the most promising are trenchless trailed cable-laying with passive earthmoving working bodies. However, despite these advantages, trenchless construction has not yet become widespread. This is due to the fact that the traditional working bodies of trenchless pavers work on the principle of cutting and pressing the soil into the walls of the cut slit.

Keywords: cable-layer, trenchless method, earthmoving working body, cable, soil, resistance to movement.

Вступ

Сучасні кабелеукладачі забезпечують прокладку кабелів практично у всіх категоріях ґрунтів, дозволяють проходити у болотах, ярах і нешироких водних перешкодах у вигляді мілководних річок і струмків. Технологія безтраншейної прокладки за допомогою ножових кабелеукладачів з пасивним робочим органом визначає поопераційну послідовність і основні вимоги до прокладання силових кабелів в землю на глибину 1-1,2м від поверхні. Кабелеукладачі з пасивним ножом забезпечують ефективну прокладку в суглинних, глинистих, піщаних і інших ґрунтах I-III категорій.

Основні переваги безтраншейної прокладки кабелів: це високі робочі швидкості прокладання (до 5 км/год), різке зменшення об'єму земляних робіт, збереження гумусового шару ґрунту на поверхні землі, можливість використання в обвальних ґрунтах, а також в ґрунтах з твердими включеннями і високим рівнем ґрунтових вод. Робочі органи безтраншейних кабелеукладачів мають просту конструкцію, високу надійність, і порівняно малу вартість. [1]

Актуальність проблеми

Безтраншейний спосіб прокладання кабелю за допомогою кабелеукладача завдяки високій продуктивності й ефективності є основним. Для прокладання кабелів використовуються кабелеукладачі з активними і пасивними робочими органами. Актуальність проблеми в даній роботі полягає в сучасних технологіях прокладання кабелю та вдосконаленні робочого органу кабелеукладача. Такі дії знадобляться для вдосконалення технічних характеристик елементів машин, для економії часу, людського ресурсу та для вдосконалення техніки безпеки під час робочого процесу, особливо в труднодоступних місцях враховуючи всі складності процесів пов'язаних з водним середовищем та гірськими породами.

Аналіз останніх досліджень

Попередній аналіз свідчить, що найбільшого поширення в світовій практиці отримали безтраншейні укладачі із землерийними робочими органами (ЗРО) шириною 100...120 мм для укладання лінії зв'язку і 150...200 мм для укладання лінійно-протяжних об'єктів (ЛПО). Найбільш ймовірна критична глибина розробки ґрунту для заданої ширини захвату знаходиться в межах $h_{кр} = 0,3...0,5$ м для кабелеукладачів і $h_{кр} = 0,4...0,8$ м для інших укладачів ЛПО. Найбільш ймовірна максимальна глибина розробки ґрунту кабелеукладачами і найпоширенішими безтраншейними укладачами іншого призначення складає відповідно 0,9...1,2 м і 1,8...1,9 м, а номінальна глибина на 0,2 м менша. На основі порівняння критичної і номінальної глибин можна стверджувати, що всі традиційні ЗРО безтраншейних укладачів працюють, як правило, з утворенням закритичної зони, в якій ґрунт піддається техногенному впливу. Тому такі робочі органи не можуть захистити навколишнє середовище від переущільнення і бути енергозберігаючими.

Детальніший аналіз показав, що повністю всім вимогам не відповідає жоден із традиційних ЗРО – у вигляді несучого стояка з суцільною різальною частиною, які застосовуються як робочі органи безтраншейних укладачів ЛПО. Але такий робочий орган, як і всі традиційні конструкції, здійснюють техногенний вплив на навколишнє ґрунтове середовище, що призводить до негативних наслідків. Визначальна причина техногенної небезпеки робочих процесів безтраншейних укладачів закладена в конструкції ЗРО, яка не дозволяє усунути із процесу різання закритичної зони, тому що критична глибина розробки ґрунту для такої конструкції ножа менша, ніж необхідна глибина укладання підземного об'єкту. [2]

Формулювання мети дослідження

Мета роботи полягає в аналізі вдосконалення конструкції машини (кабелеукладача) з активними ЗРО, принцип дії якої заснований на безтраншейному способі, яка також має обмежену швидкість робочого руху та відносно швидкість робочого органу, складність конструкції та низьку експлуатаційну надійність.

Результати досліджень

Для будівництва підземних комунікацій безтраншейним способом застосовують машини з активними, пасивно-активними і пасивними землерийними робочими органами (ЗРО).

Активні ЗРО сприймають енергію від одного або декількох джерел енергії, які встановлені на робочому органі і розробляють ґрунтове середовище за рахунок цієї енергії. Наприклад, вібраційні, віброударні, імпульсні тощо. Метою активізації є зниження опору переміщення ЗРО або збільшення зусилля їхньої дії на середовище. [3]

Машини з вібраційними і віброударними робочими інструментами отримали найбільше поширення для прокладання комунікаційних об'єктів. Найбільший ефект від вібрації виникає у випадку, коли швидкості поступального руху і розповсюдження хвильових процесів у ґрунті збігаються за напрямком. Із збільшенням швидкості поступального руху машини і глибини різання ґрунту ефективність від вібрації при незмінних параметрах активізації знижується. Крім того, відомо, що вібраційні ножі працюють за традиційним принципом ущільнення ґрунту в бокові стінки і дно щілини, що призводить до зниження природної пористості ґрунту по довжині траси. Внаслідок цього знижується водопроникаюча спроможність щілини, погіршується структура ґрунту в підземних горизонтах і водно-повітряний режим родючого шару, що суперечить агротехнічним вимогам.

Таким чином, застосування вібраційних машин для прокладання підземних комунікацій призводить або до обмеження робочої швидкості руху при незмінних параметрах активізації, або ж до збільшення енергоємності робочого процесу, а також до погіршення структури і водно-повітряного режиму підземних горизонтів, до ускладнення конструкції робочих органів. [4]

Пасивно-активні ЗРО розробляють щілину як за рахунок тягового зусилля тягача, так і за рахунок енергії автономного джерела інтенсифікатора. Як інтенсифікатори використовуються такі середовища як рідина, газ, повітря тощо, а також механічні пристрої, такі як, підземні фрези. Інтенсифікація пасивно-ножових робочих органів дозволяє знизити опір переміщенню безтраншейних укладачів на 20...50%. Але в зв'язку з тим, що пасивно-активні робочі органи мають активну частину, їм властиві недоліки активних ЗРО.

Пасивні ножі традиційної конструкції, виконані у вигляді несучого стояка з суцільною різальною частиною по глибині і ширині захвату отримали найбільше застосування на безтраншейних укладачах через простоту їх конструкцій, відсутність забивання твердими породами, високу продуктивність і надійність. Проте для їх переміщення потрібно велике тягове зусилля. [3]

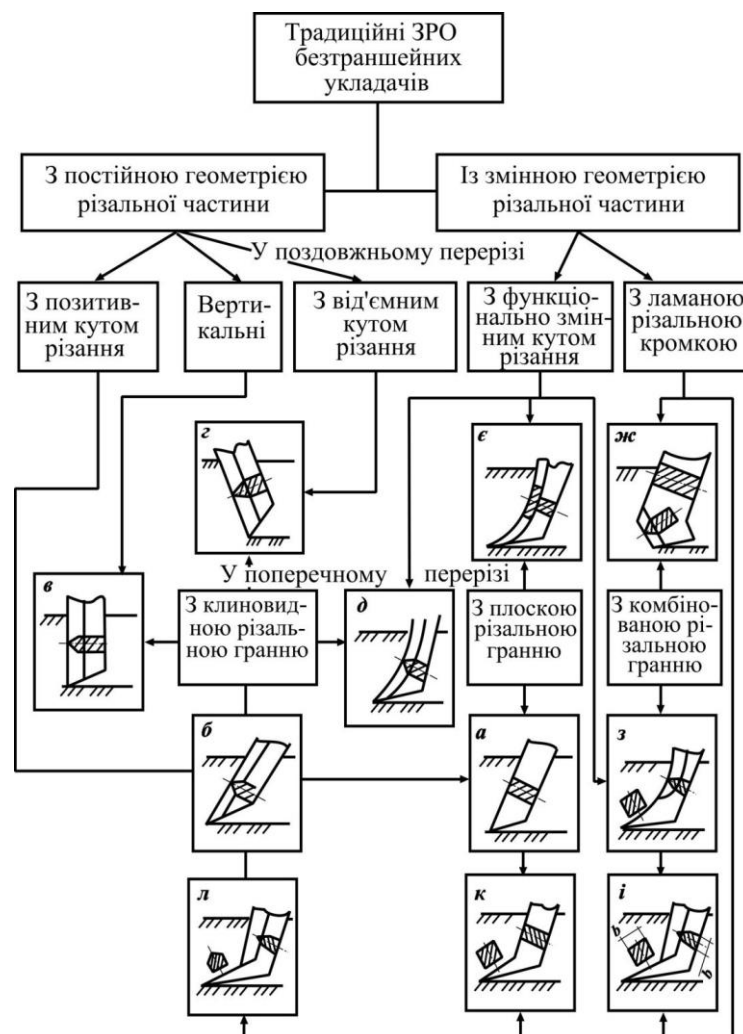


Рис. 1. Найбільш поширені форми ножів безтраншейних укладачів

Якщо зона сколювання ґрунту створюється умовами вільного виходу ґрунту на верхню поверхню, то критична зона ущільнення, навпаки, утворюється через відсутність таких умов (вихід ґрунту із зони різання). Для усунення критичної зони руйнування ґрунту і покращення якості його обробки в зоні дії робочого органа необхідно створити умови для вільного виходу стружки ґрунту із будь-якого підземного горизонту в напрямку

верхньої поверхні або іншого вільного простору в межах щілини, що формується. Якщо $H \geq h_{кр}$, то такі умови можуть бути створені при поярусній розробці середовища.

Поярусна схема розробки дозволяє зменшити енергоємність і динаміку робочого процесу порівняно з одноярусною схемою розробки щілини (глибина різання у три і більше разів перевищує його ширину).

Зниження енергоємності багаторярусної схеми розробки базується на тому положенні, що кожний ярус робочого органа, отже і енергоємність процесу при оптимальній кількості ярусів менші, ніж для традиційних ЗРО (рис. 2). [3]

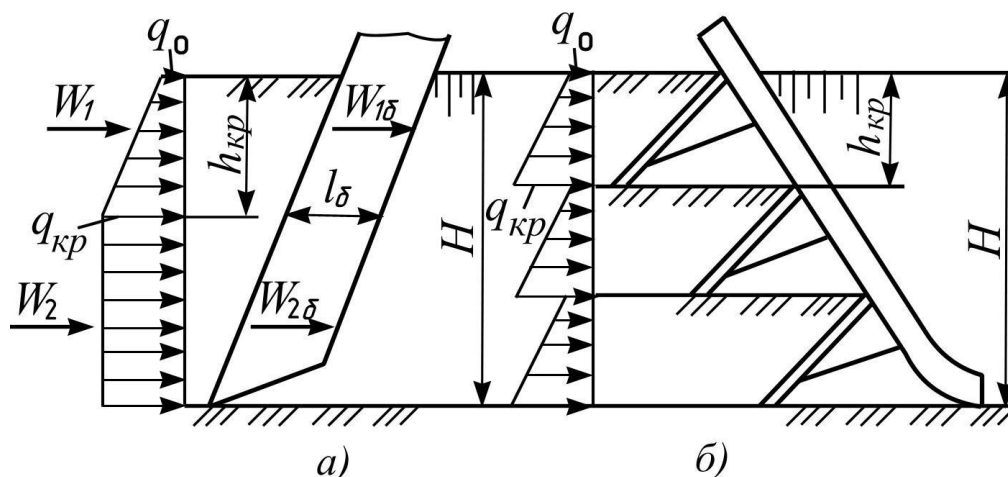


Рис. 2. Характерні епюри розподілу нормального тиску на лобову поверхню робочого органа по глибині:

а – для традиційної конструкції; б – для багаторярусної конструкції

Безтраншейні укладачі з одноярусними ножами прокладають підземні комунікації на глибину, яка перевищує критичну глибину різання. [3, 5] Тому максимальний опір переміщенню для традиційного одноярусного ножа складається із опорів переміщенню в докритичній ($W_1 + W_{1b}$) для $h_1 = h_{кр}$ і в закритичній ($W_2 + W_{2b}$ для $h_2 = H - h_{кр}$) зонах:

$$W = W_1 + W_2 + W_{1b} + W_{2b} \quad (1)$$

де W_1, W_2 – лобовий опір переміщенню ножа в докритичній і закритичній зонах;

W_{1b}, W_{2b} – опори від тертя ґрунту по бічних стінках ножа в докритичній і закритичній зонах.

$$W_1 + W_2 = b \cdot \left[(1 - f \cdot f_{on} + (f + f_{on}) \operatorname{ctg} \alpha_p) \cdot q_{сер} \cdot h_{кр} + q_{кр} \cdot b \cdot (H - h_{кр}) \right] \quad (2)$$

де b – ширина (товщина) ножа;

f – коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту ($f = \operatorname{tg} \varphi$, де φ – кут зовнішнього тертя ґрунту);

f_{on} – коефіцієнт опору переміщенню опор ножа;

α_p – кут різання ножа;

$h_{кр}$ – критична глибина різання ґрунту;

H – повна глибина різання ґрунту ножем;

$q_{кр}$ – критичний тиск ґрунту на ніж на глибині $h \geq h_{кр}$;

$q_{сер}$ – середній нормальний тиск ґрунту на лобову площину ножа на глибині $h \leq h_{кр}$.

$$q_{сер} = \frac{q_0 + q_{кр}}{2} \quad (3)$$

$$q_0 = c \cdot (A_1 - 1) \operatorname{ctg} \varphi_0 \quad (4)$$

де c, φ_0, φ_0 – відповідно коефіцієнт зчеплення і кут внутрішнього тертя ґрунту.

$$A_1 = \frac{\cos \varphi \cdot (\cos \varphi + \sqrt{\sin^2 \varphi_0 - \sin^2 \varphi}) \cdot (\sin \varphi_0 \cdot \cos \varphi_a + \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_0 \cdot \sin^2 \varphi_a})}{\cos^2 \varphi_0 \cdot (1 - \sin \varphi_0)} \quad (5)$$

$$\text{де } \varphi_a = \pi - a_p - \frac{\varphi}{2} - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0}$$

$$W_{lb} = \frac{f \cdot \gamma_{zp} \cdot h_{кр}^2}{\sin a_p} \cdot l_b \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right) \quad (6)$$

де γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту; l_b – довжина бічних стінок ножа.

$$W_{2\sigma} = q_{сеп.б} \frac{2 \cdot f \cdot l_b}{\sin a_p} \cdot (H - h_{кр}). \quad (7)$$

$$q_{сеп.б} = \frac{q_{\min} + q_{\max}}{2} \quad (8)$$

де q_{\min}, q_{\max} – відповідно мінімальний та максимальний тиск ґрунту на бічні стінки ножа на глибині закритичної зони.

$$q_{\min} = 2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) \quad (9)$$

$$q_{\max} = \frac{B_q + \sqrt{B_q^2 - 4 \cdot A_q \cdot C_q}}{2A_q} \quad (10)$$

Із зниженням глибини різання процент зниження тягового зусилля зменшується, тому що при заглибленні основного ножа в закритичну зону питомий опір різанню зростає через ущільнення ґрунту в бічні стінки щілини.

В такому випадку необхідна оптимізація форми і параметрів не тільки не основного, але й основного ножа при застосуванні до двоярусної схеми розробки, яка направлена на усунення закритичної зони. [5]

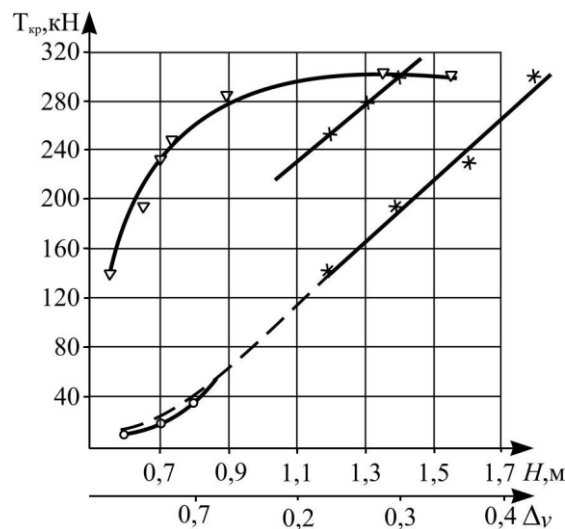


Рис. 3. Залежність тягового зусилля на крюку і величини буксування дреоукладача від глибини щілини, що нарізується

Тягове зусилля неосновного ножа (рис. 3) із збільшенням глибини різання від 0,6 до 0,85 м зростає по параболічному закону від 9,2 до 55 кН. Критична глибина різання дорівнює 0,80...0,85 м при куті різання 20...25° і ширині неосновного ножа 0,22 м. Двоярусна схема розробки щілини дозволяє знизити щільність бічних стінок з 7...10 до

3...5 ударів динамічного щільноміра і динамічні навантаження на робоче обладнання, покращує тягово-зчіпні властивості ходового обладнання, підвищує плавність ходу дренаукладача і якість робочого процесу.

Висновки

Безтраншейний спосіб дозволяє зменшити об'єм земляних робіт до мінімуму та в 3...5 разів підвищити робочу швидкість і продуктивність робочого процесу; зберегти родючий шар ґрунту без проведення рекультиваційних робіт; укласти комунікаційні об'єкти в обвальних і спливаючих ґрунтах з твердими включеннями з розміром поперечника більше 350 мм і високим рівнем ґрунтових вод; спростити конструкцію і підвищити надійність робочого обладнання; підвищити рівень механізації праці; знизити собівартість будівництва.

У той же час, цей спосіб не дозволяє вирішити проблему техногенного впливу робочого процесу на ґрунтове середовище. Крім того, стримуючим фактором є великий опір переміщення безтраншейних укладачів (до 400 кН при укладанні дренажу в зоні осушення на глибину до 1,8 м). Використання додаткових тягачів або збільшення їхньої маси і потужності веде до подорожчання будівництва, збільшує непродуктивні енерговитрати.

Детальніший аналіз показав, що повністю всім вимогам не відповідає жоден із традиційних ЗРО – у вигляді несучого стояка з суцільною різальною частиною, які застосовуються як робочі органи безтраншейних укладачів ЛПО.

Список використаних джерел

1. Зухба А. Г. Перспективы применения бестраншейных и траншейных технологий укладки линий связи в прочных грунтах / Гірн., буд., дор. і меліор. машини: Наук.-техн. зб. – К.: КДТУБіА, 1997, вип. 51. С. 73-80.
2. Бондаренко О.В. Будівництво та монтаж волоконно-оптичних систем передачі: підручник [для студентів вищ. навч. закл.]. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2014. – 228 с.
3. Кравець С.В., Нечидюк А.А., Косяк О.В. Машини для прокладання підземних комунікацій (наукові основи створення). – Рівне, 2018. – 271 с.
4. Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. – Рівне: Видавництво РДТУ, 1999. – 277с.
5. Ткачук В.Ф., Романовский А.Л., Кравец С.В. Тенденции развития рабочих органов бестраншейных дренаукладчиков В. ш.: Гидромелиорация и гидротехническое строительство. – 1988 вып. 16, С. 90-93.

References

1. Zukhba, A.H. (1997). Perspektivy prymeneniyia bestransheinykh y transheinykh tekhnolohiyi ukladky lynyi svyazy v prochnykh hruntakh. *Hirn., bud., dor. i melior. mashyny*, 51, 73-80 [in Russian]
2. Bondarenko, O.V. (2014). Budivnytstvo ta montazh volokonno-optychnykh system peredachi. *ONAZ im. O.S. Popova*, 228 [in Ukrainian]
3. Kravets, S.V., Nechydiuk, A.A., & Kosiak, O.V. (2018). Mashyny dlia prokladannia pidzemnykh komunikatsii (naukovi osnovy stvorennia), 271 [in Ukrainian]
4. Kravets, S.V. (1999). Gruntozakhysni ta enerhozberihaiuchi mashyny dlia prokladky pidzemnykh komunikatsii. *RDTU*, 277 [in Ukrainian]
5. Tkachuk, V.F., Romanovskiy, A.L., & Kravets, S.V. (1988). Tendentsyy razvytyia rabochoykh orhanov bestransheinykh drenoukladchikov. *Hydromelyoratsiya y hydrotekhnicheskoe stroitelstvo*, 16, 90-93 [in Russian]