

УДК 624.132

Аналіз технологій відновлення підземних комунікацій та шляхи вирішення можливих ускладнень

Володимир Рашківський¹, Олександр Тетерятник², Максим Балака³,
Богдан Федішин⁴

Київський національний університет будівництва і архітектури
Повітрофлотський просп. 31, Київ, Україна, 03037,

¹rashkivskyi.vp@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-5369-6676>,

²teteriatnyk.oa@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-9983-0551>,

³balaka.mm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4142-9703>,

⁴fedyshyn_bm@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2420-7332>

Received: 01.06.2023; Accepted: 29.06.2023

<https://doi.org/10.32347/gbdmm.2023.101.0401>

Анотація. У будівництві та суміжних галузях національної економіки (прокладання підземних комунікацій, меліоративні та військово-інженерні земляні роботи, видобування корисних копалин та будівельних матеріалів тощо) існують роботи, виконання яких традиційними машинами втрачає доцільність через їх високу енергомісткість та низьку функціональність.

Особливий інтерес викликає процес прокладання траншейних ліній для локальних трубопроводів, специфіка якого основним чином визначається параметрами траншеї. Разом з тим, роботи з прокладання підземних комунікацій, як правило, виконуються у стиснені терміни та в обмеженому просторі. Основні види робіт, що виконуються, поєднують доволі складні фізико-механічні процеси, виконання яких потребує використання спеціальних машин, що відрізняються від звичайних як за принципом роботи, так і за конструктивним виконанням. У більшості таких машин застосовуються високошвидкісні робочі органи, принцип дії яких ґрунтується на теорії динамічного руйнування ґрунтів.

Технологія земляних робіт із застосуванням щілинно-фрезерного робочого обладнання має достатнє співвідношення критерію «собівартість – час». При цьому забезпечення динамічності робочого процесу за рахунок високошвидкісної фрези дозволяє значно знизити опори переміщенню робочого органу, а необхідність прокладання труб різного діаметру може бути забезпечена шляхом заміни діаметра фрези.

Ключові слова: технологія земляних робіт, підземні комунікації, прокладання труб, руйнування ґрунту, фреза, робоче обладнання.

ВСТУП

В будівельному комплексі України існує значний потенціал енергозбереження повного циклу, включаючи проектування будівельних машин і будівель та їх експлуатацію, земляні роботи та роботи з видобування і обробки природних матеріалів [1–5].

Для континентального помірного клімату України характерні особливості виконання ряду робіт, а саме земляних робіт, що визначається природним утворенням у ґрунтовому масиві шару промерзання глибиною до 20 см після зимового сезону. Крім цього природній склад верхнього шару ґрунту представляє собою середовище з різними дисперсними включеннями. Такі властивості ґрунтових середовищ визначають особливості технології виконання траншейних каналів під час прокладання комунікацій.

Траншея утворюється за декілька проходів траншеєскопача, що зменшує продуктивність машини. Для таких ґрунтів характерне різке його ослаблення після проходження глибини промерзання, що може спричинити поломку різальних елементів машин при надмірному заглибленні в ослаблений масив [6, 7]. Широко розповсюдженими є траншеї для трубопроводів, які закладаються на глибину 0,6...0,8 м та мають ширину 0,1...0,25 м, що визначається діаметром комунікаційних труб до 0,2 м.

Тому при утворенні траншей під комунікаційні мережі землерийними машинами руйнується більш щільний шар ґрунтового масиву, а їх робочі органи працюють у важких умовах, що зумовлює швидке зношування та закладання високих коефіцієнтів запасу міцності під час проєктування.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

В умовах відновлення зруйнованих споруд важливу роль відіграє саме відновлення інфраструктури і комунікацій (інженерних мереж) тих будинків, які не мають значних пошкоджень і можуть бути відновлені. Цей процес повинен проходити швидко й якісно та враховувати те, що у деяких випадках підземні комунікації необхідно буде відновлювати майже повністю. Це надасть можливість уникнути ситуацій, коли нові комунікації при приєднанні до старих або зношених елементів, будуть потребувати ремонту через декілька років [4, 8–10]. Такий підхід може потребувати додаткового часу на проведення відновлювальних робіт, але позбавляє додаткових фінансових витрат на обслуговування інженерних мереж.

У будь-якому випадку методика проведення робіт із заміни або відновлення інженерних мереж вимагає проведення земляних робіт. При цьому кількість таких робіт залежить від методу, яким земляні роботи проводяться. Як відомо [9], є два основних методи – відкритий (траншейний) та закритий (безтраншейний).

Відкритий метод передбачає руйнування верхнього шару ґрунту і містить наступні етапи: риття траншеї на глибину, що регламентується нормативними документами; вирівнювання днища та зміцнення стін траншеї; відсіпання пісочної подушки; встановлення або ремонт трубопроводу; захист труб; засипання траншеї; проведення відновлювальних робіт.

Існує багато способів руйнування ґрунту: механічний, гідравлічний, пневматичний, термомеханічний, гідромеханічний, пневмомеханічний, вибуховий тощо. Кожен з цих способів має свої особливості а також переваги та недоліки. Відповідно до особливостей, кожен з цих способів засто-

совується на різних об'єктах будівництва та, у більшості випадків, для проведення спеціалізованих операцій. Якщо враховувати сукупність факторів, таких як собівартість робіт, економічну ефективність, складність та інші, то дієвим способом розробки є механічне руйнування ґрунту.

Перевагами відкритого методу є достатньо висока доступність робочого обладнання для проведення земляних робіт. Враховуючи цей аспект, до переваг можна віднести також достатньо високу швидкість виконання робіт та їх невелику собівартість. Це зумовлюється різноманітністю робочого обладнання та засобів малої механізації, а також простотою та швидкістю підготовки і налаштування обладнання до роботи.

Енергоємною операцією при такому методі є руйнування ґрунту. При статичному руйнуванні різальний інструмент рухається рівномірно або з незначним прискоренням при швидкості до 2...2,5 м/с. Енергоємність механічного руйнування піщаних і глинистих ґрунтів залежно від їх міцності та конструкції різальних інструментів складає 0,05...0,5 кВт·год/м³. Цим способом виконують до 85 % об'єму земляних робіт.

До основних недоліків можна віднести достатньо високу енергоємність способу за рахунок руйнування та переміщення великої кількості ґрунту. До того ж виникає необхідність проводити додаткові роботи з улаштування тимчасових переїздів та переходів через місця проведення робіт або чіткого узгодження всіх логістичних операцій на будівельному майданчику.

Не слід забувати також, що в деяких місцях прокладання комунікацій відкритим методом взагалі неможливо. До них відносяться автостради та залізниці, які не можуть бути перекриті, окремі промислові об'єкти й житлові будинки та природні перешкоди (яри, водоймища, болота).

Іншим технологічним напрямком у прокладанні комунікацій є закритий метод. Існує декілька основних способів, які вибираються в залежності від характеристик ґрунтів і задач, що виконуються.

При закритому методі прокладання комунікацій забезпечує неушкодженість транспортних та логістичних шляхів. Крім того

знижується частка ґрунту, що безпосередньо розроблюється і переміщується, завдяки чому знижуються витрати енергії на робочий процес.

Так існує декілька способів прокладання труб без відривання траншей: санація, проколювання, продавлювання і горизонтально направлене буріння.

Санація (релейнінг) – спосіб відновлення трубопроводів, при якому новий трубопровід прокладається всередині вже існуючого. Процес може відбуватися як з руйнуванням старого трубопроводу, так і без нього.

Одним з варіантів є прокладання нових труб у старому трубопроводі. У цьому випадку старий трубопровід розкривається в декількох місцях, через ці місця доставляють нові труби, які одна за одною зсуваються всередину, утворюючи новий трубопровід. Найчастіше простір між старими та новими трубами заповнюється цементно-піщаною сумішшю або іншими заповнювачами для розподілу навантаження та відновлення стійкості конструкції.

Метод «труба в трубі» полягає у протягуванні всередині існуючого трубопроводу безперервної труби меншого діаметра. За необхідності збільшення діаметру застосовується статичне руйнування старого трубопроводу. Цей процес проводиться за допомогою штанг з розширювальним ножом, який через вертлюг з'єднаний з трубою, що протягується. Протягування штанг відбувається за допомогою одного або декількох гідравлічних домкратів. Таким чином, під час цього процесу стара труба руйнується ножом, розширюється і в неї затягується нова поліетиленова труба.

Ще одним варіантом, що не вимагає розкриття старого водопроводу та заповнення простору між новою трубою і старою, є санація методом «панчохи» (санація полімерним рукавом), при якому в трубу, що підлягає реконструкції, вводиться гнучкий композитний рукав, який після розкриття та затвердіння представляє собою нову надміцну трубу, що повністю переймає всі навантаження. Сьогодні найбільш перспективною є технологія, що заснована на застосуванні ультрафіолетового випромінювання для твердіння полімерного рукава. Викори-

стання ультрафіолетового випромінювання дозволило відмовитися від термореактивних полімерних смол, якими до цього просочувалися композитні рукави і, як наслідок, значно знизити чутливість технології до впливу зовнішніх факторів [11].

До переваг санації відносяться: можливість використання існуючої інженерної мережі; мінімальний ризик пошкодження сусідніх трубопроводів; можливість збільшення або зменшення діаметра трубопроводу; зменшення витрат на виконання земляних та відновлювальних робіт. До недоліків можна віднести високу вартість проведення робіт та матеріалів, особливо методом «панчохи».

Наступний спосіб – прокол, тобто утворення отворів за рахунок радіального ущільнення ґрунту при вдавлюванні в нього труби з конічним кінцевиком. Застосовуються різні за формою кінцевика, найпоширеніші у вигляді прямого кругового конуса, під час використання яких створюється мінімальний опір ґрунту проколу. Від кута загострення кінцевика суттєво залежить зусилля проколу.

Виділяють наступні технології проколу: вібро-, гідропрокол, прокол за допомогою ґрунтопроколювання, прокол механічний за допомогою гідравлічного домкрата, а також за допомогою пневмопробійника.

Спосіб використовується в ґрунтах, що добре стискаються, отвори проколюють для труб діаметром 100...400 мм на глибині більше 2,5...3 м. У мало стислих ґрунтах (пісок, супісок) з метою забезпечення стійкості стін додатково до горизонтального зусилля застосовується поперечний і вібраційний вплив, при цьому діаметр отворів виконується до 300 мм [9].

Близький до проколу є спосіб продавлювання. Продавлювання застосовується для укладання виробів зі сталі, що мають діаметр не більше 2 000 мм. Цей спосіб відрізняється від проколу тим, що вдавлювання труби в ґрунт виконується відкритим кінцем, після чого земля, яка вдавлялася всередину труби, забирається або вручну, або механічним способом. В залежності від характеристик ґрунту на передньому кінці труби може встановлюватися ніж. При про-

суванні труба долає зусилля тертя ґрунту по зовнішньому контуру і врізання ножової частини в ґрунтовий масив.

При продавлюванні застосовують натискні насосно-домкратні установки з двох, чотирьох, восьми і більше гідродомкратів зусиллям 50...300 т кожен з переміщенням штоку 1,1...2,1 м, що працюють від насосів високого тиску [10, 11].

Горизонтально направлене буріння (ГНБ, від англ. Horizontal Directional Drilling) – багатоетапна технологія безтраншейного прокладання підземних комунікацій за допомогою спеціалізованих мобільних бурових установок, що дозволяє вести керувану проходку за криволінійною траєкторією, розширювати свердловину, протягувати трубопровід.

Довжина прокладання шляхів може бути від декількох метрів до декількох кілометрів, а діаметр – від мінімального 63 мм і до 1 200 мм. Футляри труб для протягування, використовують полімерні, а також труби зі сталі, високоміцного чавуну та інших видів матеріалів. Прокладання відбувається з мінімальним впливом на довкілля.

Прокладання інженерних мереж за способом ГНБ здійснюється у три етапи [12]:

- направлене буріння пілотної свердловини за проектною трасою;
- одноразове або послідовно-багаторазове розширення свердловини до необхідного діаметра бурового каналу, що дозволяє протягувати трубопровід проектного діаметра;
- протягування комунікаційного трубопроводу (захисного футляра) через буровий канал, у напрямку від точки виходу бура до бурової установки.

Технологія ГНБ найбільш поширена та ефективно застосовується для прокладання інженерних мереж різного призначення в умовах щільної міської забудови або за наявності перешкод, а саме: під річками, озерами, каналами, болотами, ярами, лісовими та парковими масивами; під діючими автомобільними трасами («проколи під дорогами»), залізничними та трамвайними коліями, злітно-посадочними смугами аеропортів; на території промислових підприємств без зупинки виробництва; в охоронних зо-

нах метрополітену, високовольтних повітряних ліній електропередач, магістральних газопроводів, нафто- і продуктопроводів та поблизу або на території пам'яток історії та архітектури.

Разом з тим, до недоліків можна віднести достатньо високу собівартість та необхідність у спеціальному обладнанні.

Мікротунелювання – це автоматизована прохідка тунелю з продавлюванням трубної конструкції обробки, що виконується без присутності людей у тунелі. Це безтраншейний метод прокладання трубопроводів і комунікацій за допомогою спеціальних домкратних станцій, коли труба «продавлюється» крізь ґрунт від однієї станції до іншої за допомогою спеціального тунелепрохідницького щита, що також називається буром (бурошнекове буріння) на відстань 100...120 м [8]. При роботі обладнання змішує породу з водою та транспортує системою очищення на поверхню, де вона вже сепарується.

Технологія мікротунелювання дозволяє прокладати підземні комунікації в районах щільної забудови або місцевості, що має велику кількість транспортних та інших систем. Роботи можуть бути проведені у водонасичених, нескельних та скельних ґрунтах, у тому числі при змішаному вибої, у великоуламкових ґрунтах із включенням гравію, гальки, щебеню у вигляді прошарку та валунів. Прокладка трубопроводу виконується за прямолінійною і криволінійною у профілі та плані трасою.

Здійснюється прокладка за допомогою двох котлованів: стартового та приймального, глибина яких відповідає глибині прокладки. У стартовому котловані встановлюється потужна домкратна станція, на яку розміщується прохідницький щит. За допомогою домкратів здійснюється проходка щита в ґрунті на його довжину, після чого на домкратну станцію міститься відрізок труби продавлювання тієї ж довжини і процес повторюється.

Після нарощування ставок труб окремими відрізками проводиться подальша прохідка до виходу щита в приймальний котлован. Після цього щит демонтується, а труби залишаються у землі [9].

Технологія мікротунелювання дозволяє прокладати комунікації та трубопроводи у ґрунтах будь-якої складності – від нестійких суглинків та водоносних пісків до скельних порід, у тому числі при змішаному вибої, у великоуламкових ґрунтах із включенням гравію, гальки, щебеню у вигляді прошарку і валунів.

Недоліками такого технічного рішення є необхідність у ритті стартового та приймального котлованів та достатньо велика собівартість виконання робіт.

Якщо провести аналіз представлених технологій, то можна побачити, що рішення про використання того чи іншого способу повинно враховувати багато факторів. Всі представлені технології мають свої недоліки – від необхідності проводити підготовчі земляні роботи та створювати перешкоди для техніки, що паралельно працює на майданчику, до потреби використання коштовних та дефіцитних машин для проведення горизонтально направлено буріння.

Зважаючи на недоліки, проблема може вирішуватися різними способами. Проте, якщо визначити у якості критеріїв оптимізації такі параметри, як швидкість проведення робіт та собівартість проведення робіт, то ці параметри в загальному випадку є обернено пропорційними.

Якщо звернути увагу на суміжну галузь національної економіки, то можна побачити наступне. Для проведення меліоративних робіт використовується така спеціальна техніка, як крото-дренажні машини. Ці зазвичай потужні машини використовують щілинний та кротовий робочі органи для створення системи дренажних каналів.

Машини виконуються в якості навісних або причіпних машин до базового трактора. В якості пасивного робочого органу використовується ніж з кротовим робочим органом (рис. 1). Під час руху машини ніж, розташований у вертикальній площині, прорізає в ґрунті щілину. У нижній частині ножа розташовується розширювач з дреномером, який переміщується за ножом під час руху і продавляє отвір круглого перерізу діаметром близько 70 мм у мінеральних ґрунтах, до 250 мм у торфовищах. Стінки видавленної трубки нічим не підкріплюються, труб-

ка утримує свою форму завдяки міцності та пружності ґрунту. Глибина закладення дрени – близько 1 м чи глибше, термін служби становить близько десяти років [6, 10].

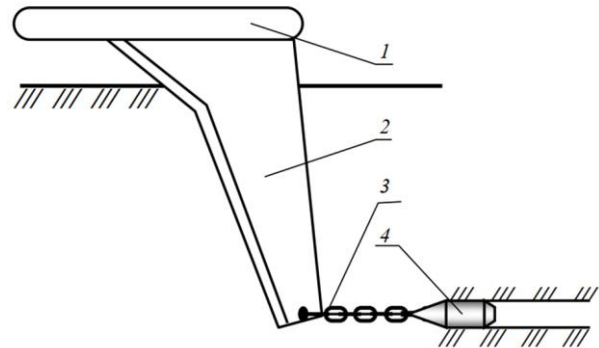


Рис. 1. Схема крото-дренажної машини: 1 – тягова рама; 2 – ніж; 3 – ланцюг; 4 – кротовий робочий орган

Fig. 1. Scheme of the mole-drainage machine: 1 – traction frame; 2 – knife; 3 – chain; 4 – working mole element

Описана технологія дозволяє створювати систему підземних отворів для прокладання комунікацій змішаним шляхом. Тобто робота такої машини все одно вимагає руйнування верхнього шару ґрунту. Крім того технологія вимагає відсутності інших інженерних мереж (електрозабезпечення, водозабезпечення, каналізації тощо) і сторонніх включень у ґрунтового масиві в зоні проведення робіт. Але відсутня необхідність перекриття руху будівельної техніки на майданчику та проведення робіт із засипанням та ущільненням верхнього шару ґрунту – після робочого руху машини в землі залишається лише невелика щілина, яка під дією пластичних деформацій середовища достатньо швидко зникає.

Зрозуміло, що для прокладання труб така технологія повинна бути доопрацьована. Так після проходження кротового робочого органу за ним в ущільнену порожнину повинна затягуватися труба, яку планується використовувати для забезпечення потреб. Але при цьому зростають тягові зусилля, які створює базова машина для подолання опорів при проходженні щілиноріза та кротового робочого органу. Тому технологія потребує збільшення потужності базової машини, що обмежує зону її використання.

При аналізі даної технології впливає можливість розділення процесу укладання комунікацій на два етапи. Першим етапом буде робочий рух базової машини за маршрутом прокладання з утворенням кротовини. При цьому за кротовим робочим органом протягується тяговий канат, діаметр якого дозволяє без значних зусиль протягнути його до місця призначення. Після цього кротовий робочий орган відчіпляється і до кінця канату приєднується труба з конічним кінцевиком. Діаметр труби береться меншим, ніж діаметр кротового робочого органу. Канат разом із трубою протягується в зворотному напрямку.

Завдяки меншому діаметру труби і конусному кінцевіку процес зворотного протягування труби матиме невеликі опори, що дозволяє використовувати силову лебідку замість системи домкратів.

Отримана технологія може бути використана для швидкої заміни та прокладання підземних комунікацій у житлових кварталах та приватному будівництві. Перевагами такої технології є:

- невелика собівартість роботи за рахунок використання нескладного обладнання;
- відсутність додаткових операцій, таких як екскавація ґрунту для риття траншеї та її повторне засипання;
- можливість збільшення діаметру труби, що закладається, за рахунок збільшення кількості проходів.

До недоліків технології відносяться:

- необхідність проведення двох або більше проходів для зниження тягових навантажень;
- відсутність сторонніх включень, інших інженерних мереж та об'єктів інфраструктури на шляху проведення робіт;
- достатньо великі тягові зусилля при першому проході.

Тобто для проведення робіт за такою технологією необхідно використовувати достатньо потужну базову машину, що обумовлено статикою робочого процесу. Це значно звужує область застосування такої технології. Але у порівнянні критеріїв «собівартість – час» така технологія виглядає найбільш оптимальною. З одного боку немає потреби витрачати час на зайві операції

(розривання та закопування котловану), з іншого – немає потреби використовувати дорожче обладнання.

Описана технологія, на наш погляд, є перспективною, враховуючи її переваги. Але статичність процесу роботи визначає значні зусилля, що створюються при продавлюванні кротовим робочим органом. Тому виникла ідея застосування динамічного робочого органу в якості об'єкту, що створюватиме порожнину для укладання підземних комунікацій.

Щілинно-фрезерний робочий орган, наведений на рис. 2, містить ніж та фрезу. Фреза, яку виконано у вигляді зрізаного конусу, розташованого більшою стороною до низу, має різальні елементи та отвори (рис. 3) [13]. Різальні елементи відливаються разом із корпусом і мають форму шнекової лінії, яка трохи розширюється догори.

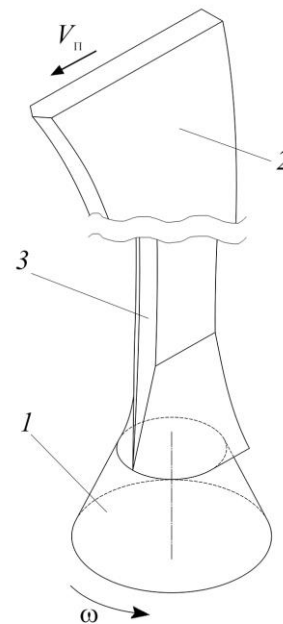


Рис. 2. Загальний вигляд щілинно-фрезерного робочого органу: 1 – фреза; 2 – ніж; 3 – різальна кромка

Fig. 2. General view of the slot-milling working element: 1 – milling cutter; 2 – knife; 3 – cutting edge

Робоче обладнання працює наступним чином. Базова машина рухається вперед зі швидкістю $V_{п}$, ніж прорізає щілину в ґрунті. Фреза, що знаходиться нижче ножа, обертається навколо осі та руйнує ґрунтовий масив за допомогою різальних елементів.

За рахунок форми різальних елементів ґрунт буде переміщуватися до верхнього краю та відводитися із зони різання у задню частину – до розробленої частини забою. Отвори в корпусі фрези забезпечують додаткове відведення ґрунту від робочої зони. Висока швидкість обертання фрези ω , яка значно перевищує швидкість подачі V_p , дозволяє змінити робочий процес зі статичного на динамічний, що дозволяє знизити енергомісткість різання ґрунту.

При цьому для прокладання підземних комунікацій можна забезпечити одночасне протягування за робочим органом труби меншого діаметра з конічним кінцевиком. Розпушений фрезою ґрунт матиме значно менші питомі опори при протягуванні, що забезпечить технологію прокладання комунікацій за один прохід.

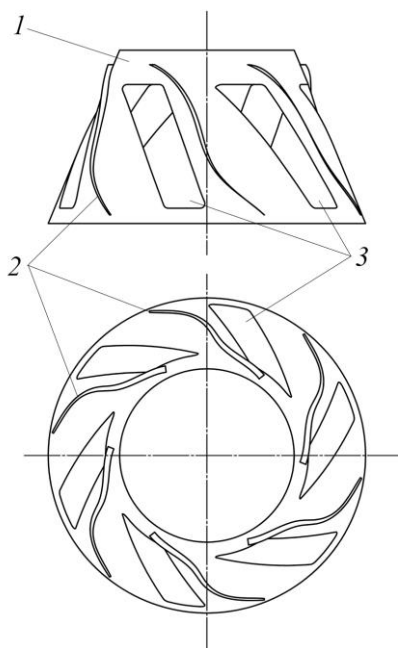


Рис. 3. Загальний вигляд фрези: 1 – корпус; 2 – різальні елементи; 3 – отвори

Fig. 3. General view of the milling cutter: 1 – case; 2 – cutting elements; 3 – holes

Необхідність прокладання труб різного діаметру може бути забезпечена шляхом заміни діаметра фрези. Тобто для забезпечення даної технології необхідно мати декілька щілинно-фрезерних робочих органів, які будуть орієнтовані на роботу під різні типи інженерних мереж.

ВИСНОВКИ

Проведений аналіз існуючих технологій заміни та відновлення підземних комунікацій показав, що є значна кількість технологій, які відрізняються між собою за критерієм «собівартість – час». Однак у більшості випадків ці два критерії мають обернено пропорційний характер.

Представлена технологія земляних робіт із застосуванням щілинно-кратового робочого обладнання має оптимальне співвідношення критерію «собівартість – час», але в загальному випадку характеризується значним опором переміщенню робочого органу.

Опрацьована методика прокладання підземних комунікацій за допомогою щілинно-фрезерного робочого органу є близькою до попередньої. Однак забезпечення динамічності робочого процесу за рахунок високошвидкісної фрези дозволяє значно знизити опір переміщенню робочого органу.

В цілому, проведення надалі досліджень дозволить визначити кінематичні та силові характеристики робочого процесу, уточнити кінематику процесу переміщення ґрунту в зоні різання і можливості транспортування ґрунту за межі забою. Водночас існує необхідність дослідження можливості заміни фрез без заміни робочого обладнання.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Блохин В. С., Малич Н. Г.** Анализ перспективы развития машин для земляных работ и технологического перевооружения предприятий, использующих эту технику. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 2. С. 171–184.
2. **Тетерятник О., Балака М.** Аналіз шляхів забезпечення енергонезалежності будівельної техніки з використанням відновлювальних джерел енергії. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2021. Вип. 97. С. 24–35. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2021.97.0301>.
3. **Пелевин Л. Е., Балака М. Н., Аржаев Г. А.** Силовое взаимодействие эластичного колеса с деформирующейся опорной средой. Интерстроймех-2007: материалы Междунар. науч.-техн. конф., 11–14 сент. 2007 г. Самара: СГАСУ, 2007. С. 205–209.

REFERENCES

4. **Балака М. М., Антонков М. О.** Аналіз методів, засобів і технологій інтенсифікації виконання земляних робіт на мерзлих ґрунтах. Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта 2014: материалы Междунар. конф., 27–28 март. 2014 г. Днепропетровск: НГУ, 2014. С. 147–156.
5. **Балака М. М.** Тенденції розвитку колісних землерійно-транспортних машин. Наукова конференція молодих вчених, аспірантів і студентів, 6–8 листоп. 2012 р.: Тези доп. К.: КНУБА, 2012. Ч. 1. С. 83–84.
6. **Pelevin L., Teteriatnyk O., Komotska S., Fedyshyn B.** (2022). Taking into account the regularities of physical processes in the constructions of working bodies of dynamic destruction. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], (100), 29–38. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.100.0401>.
7. **Balaka M., Zozulya E.** (2017) Excavator with active working element. *Build- Master- Class-2017: International Scientific and Practical Conference Proceedings*, 28 November – 01 December, 2017. Kyiv, 269–270.
8. **Гончаренко Д. Ф., Старкова О. В.** Особливості збереження та відновлення діючих підземних комунікацій. Промислове будівництво та інженерні споруди. 2018. № 3. С. 24–28.
9. **Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Боковня Г. І.** Системи технологій землерійних робіт у транспортному будівництві. К., 2018. 132 с.
10. **Фомін А., Гаркавенко О., Костенюк О., Тетерятник О.** Особливості руйнування робочих середовищ при інформаційності та співентропійності робочих процесів будівельної техніки. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2019. Вип. 94. С. 42–50. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0401>.
11. **Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А.** Бестраншейные методы восстановления трубопроводов. М., 2002. 284 с.
12. **Willoughby, David** (2005). *Horizontal Directional Drilling*, p. 1–263. McGraw-Hill, New York.
13. **Teteriatnyk O., Rashkivskiy V.** (2021). Calculations difference of high-speed working units depending on the kinematics of their working processes. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], (98), 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2021.98.0101>.
1. **Blokhin V. S., Malich N. G.** (2012). Analiz perspektivy razvitiia mashin dlia zemlianykh rabot i tekhnologicheskogo perevoorzheniia predpriatii, ispolzuiuushchikh etu tekhniku [Analysis of the development prospects for earthworks machines and technological re-equipment of enterprises using this technique]. *Gornyi informatcionno-analiticheskii biulleten* [Mining informational and analytical bulletin], No. 2, 171–184. (*in Russian*).
2. **Teteriatnyk O., Balaka M.** (2021). Analiz shliakhiv zabezpechennia enerhonezalezhnosti budivelnoi tekhniky z vykorystanniam vidnovliuvalnykh dzherel enerhii [Analysis of ways to ensure the energy independence of construction equipment using renewable energy sources]. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], (97), 24–35. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2021.97.0301>. (*in Ukrainian*).
3. **Pelevin L. Ye., Balaka M. N., Arzhayev G. A.** (2007). Silovoye vzaimodeystviye elastichnogo kolesa s deformiruyushcheysoy opornoj sredoy [Force interaction of elastic wheel with deformable support medium]. *Interstroyekh-2007: International Scientific and Technical Conference Proceedings*, September 11–14, 2007. Samara: Samara State University of Architecture and Civil Engineering, 205–209. (*in Russian*).
4. **Balaka M. M., Antonkov M. O.** (2014). Analiz metodiv, zasobiv i tekhnologii intensyfikatsii vykonannya zemlianykh robit na merzlykh gruntakh [Analysis of the methods, means and technologies intensification of earthworks on the frozen soils]. *Sovremennyye innovatsionnyye tekhnologii podgotovki inzhenernykh kadrov dlya gornoy promyshlennosti i transporta 2014* [Contemporary innovation technique of the engineering personnel training for the mining and transport industry 2014]: *International Conference Proceedings*, March 27–28, 2014. Dnepropetrovsk: National Mining University, 147–156 (*in Ukrainian*).
5. **Balaka M. M.** (2012). Tendentsii rozvytku kolisnykh zemleriyino-transportnykh mashyn [Development trends of wheeled earth-moving and transport machines]. *Abstracts of the Scientific Conference of young scientists, post-graduates and students*, November 6–8, 2012. Kyiv: Kyiv National University of Construction and Architecture, Part 1, 83–84 (*in Ukrainian*).
6. **Pelevin L., Teteriatnyk O., Komotska S., Fedyshyn B.** (2022). Taking into account the

- regularities of physical processes in the constructions of working bodies of dynamic destruction. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], (100), 29–38. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2022.100.0401>.
7. **Balaka M., Zozulya E.** (2017) Excavator with active working element. *Build-Master- Class- 2017: International Scientific and Practical Conference Proceedings*, 28 November – 01 December, 2017. Kyiv, 269–270.
 8. **Goncharenko D. F., Starkova O. V.** (2018). *Osoblyvosti zberezhennia ta vidnovlennia diu-chykh pidzemnykh komunikatsii* [Preservation and restoration features of existing underground communications]. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy* [Industrial construction and engineering structures], (3), 24–28 (*in Ukrainian*).
 9. **Fomin A. V., Kosteniuk O. O., Teteriatnyk O. A., Bokovnia H. I.** (2018). *Systemy tekhnolohii zemlerynykh robit u transportnomu budivnytstvi* [Systems of earthmoving technologies in transport construction]. Kyiv, 132. (*in Ukrainian*).
 10. **Fomin A., Garkavenko O., Kosteniuk O., Teteriatnyk O.** (2019). *Osoblyvosti ruinuvania robochykh seredovyschch pry informatsiinosti ta spiventropiinosti robochykh protsesiv budivelnoi tekhniki* [Features of destruction of work environments at information and entropy of work processes of construction equipment]. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyv-ni mashyny* [Mining, constructional, road and melioration machines], (94), 42–50. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0401>. (*in Ukrainian*).
 11. **Khramenkov S. V., Primin O. G., Orlov V. A.** (2002). *Bestransheynnye metody vosstanovleniya truboprovodov* [Trenchless pipeline restoration methods]. Moscow, 284 (*in Russian*).
 12. **Willoughby, David** (2005). *Horizontal Directional Drilling*, p. 1–263. McGraw-Hill, New York.
 13. **Teteriatnyk O., Rashkivskyi V.** (2021). Calculations difference of high-speed working units depending on the kinematics of their working processes. *Girnychi, budivelni, dorozhni ta melioratyvni mashyny* [Mining,

constructional, road and melioration machines], (98), 5–10. <https://doi.org/10.32347/gbdmm.2021.98.0101>.

Restoration technologies analysis of underground pipelines and ways to solve possible complications

Volodymyr Rashkivskyi¹, Oleksandr Teteriatnyk², Maksym Balaka³, Bohdan Fedyshyn⁴

^{1,2,3,4} *Kyiv National University of Construction and Architecture*

Abstract. There are works that cannot be performed by traditional machines due to their high energy consumption and low functionality in construction and related sectors of the national economy. These include the laying of underground communications, reclamation and military engineering earthworks, extraction of minerals and building materials, etc.

The laying process of trench lines for local pipelines, the specifics of which are mainly determined by the trench parameters, is of particular interest. At the same time, laying works of underground communications are performed in a short time and in a limited space as a rule. The main types of work performed are combined with quite complex physical and mechanical processes. This requires the use of special machines that differ from ordinary ones both in the operation principle and in construction terms. High-speed working elements are used in most of these machines, the operation principle of which is based on the dynamic soil destruction theory.

Earthworks technology with the use of slot-milling work equipment has a sufficient ratio of the «cost – time» criterion. At this time, the need to ensure the dynamism of the work process by means of the high-speed cutter reduces the resistance to the movement of the working element. The need for laying pipes of different diameters can be ensured by replacing the diameter of the milling cutter.

Keywords: earthworks technology, underground communications, pipe laying, soil destruction, milling cutter, work equipment.