

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПОСМІТЮХА ОЛЕКСАНДР ПЕТРОВИЧ

УДК 624.132.3

СТВОРЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО ОРГАНУ
ДЛЯ СУМІСНОГО БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ЛІНІЙНО-
ПРОТЯЖНИХ ОБ'ЄКТІВ

05.05.04 – машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт

13 – механічна інженерія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2023

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі «Прикладна механіка та матеріалознавство» Українського державного університету науки і технологій, м. Дніпро.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Кравець Святослав Володимирович,
НУВГП

Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Хмара Леонід Андрійович,
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», професор кафедри будівельних і дорожніх машин.

кандидат технічних наук, доцент
Хачатурян Сергій Леонідович,
Центрально український національний технічний університет, доцент кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва.

Захист відбудеться «__» грудня 2023 року о __ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.05 у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна) та на сайті університету: <https://www.khadi.kharkov.ua/science/specializovani-vcheni-radi/d-6405905/>

Автореферат розісланий «__» _____ 20__ року.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент

 В.М. Рагулін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми.

Безтраншейні технології прокладання комунікацій відомі у світі як TRENCHLESS TECHNOLOGIES, або NO-DIG – це варіанти виконання будівельних робіт в підземному просторі без розтину ґрунту. При використанні безтраншейних технологій понад 90% всіх робіт проводиться під землею. Ці технології можна використовувати під час прокладання кабелів різного призначення, нафто-газо-проводів, при будівництві та ремонті водопровідних та каналізаційних мереж. В умовах щільної міської забудови, при перетині залізничних колій, автодоріг, річищ, водойм і багатьох інших об'єктів ці технології часто є незамінні.

Однак, використання машин з робочим органом (далі - РО) традиційної конусо-циліндричної форми характеризується великою енергомісткістю процесів утворення технологічних порожнин в ґрунті (далі – ТПГ) і, відповідно, низькими значеннями ККД. Тому постають актуальні завдання щодо створення нових ефективних конструкцій робочих органів машин для безтраншейних технологій та дослідження процесів їх взаємодії з ґрунтом.

Одним із шляхів підвищення ефективності процесу безтраншейного прокладання комунікацій способом статичного проколювання є утворення технологічної порожнини в ґрунті оптимальної форми для сумісного прокладання лінійно-протяжних об'єктів (далі – ЛПО) за рахунок використання РО у вигляді наконечника клиново-призматичної форми, що дає змогу істотно зменшити зусилля проколювання та, одночасно, обмежує розповсюдження зони переущільненого ґрунту.

Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри "Прикладна механіка та матеріалознавство" Українського державного університету науки і технологій (далі – УДУНТ).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до наукових напрямків та завдань державних науково-технічних програм «Енергетична стратегія розвитку України на період до 2030 року» (Постанова Кабінету Міністрів України №145-р від 15 березня 2008 р.), «Концепція розвитку, модернізації та переоснащення газо-транспортної системи України на 2009–2015 роки» (Постанова Кабінету Міністрів України №1417-р від 21 жовтня 2009 р.) та узагальнює результати досліджень автора, що виконувалися у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Розробка та розрахунок вібросистем модульного типу і установок горизонтального буріння отворів у ґрунті для облаштування колії при її ремонті, реконструкції і будівництві» № держреєстрації 0110U000328 (2011 р.), «Удосконалення методів оцінки та підвищення функціональної безпеки в експлуатаційній роботі на залізницях» № держреєстрації 0117U005627) (2017 р.).

Мета і завдання дослідження

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів шляхом створення робочого органу клиново-призматичної форми та в обґрунтуванні його параметрів.

Для досягнення мети виконано наступні завдання:

1) Обґрунтувати гіпотезу взаємодії клиново-призматичних наконечників з ґрунтом під час статичного проколу.

2) Провести аналітичні дослідження робочих зусиль і визначити раціональні параметри клиново-призматичних робочих органів з урахуванням впливу на сусідні підземні комунікації.

3) Провести експериментальні дослідження з перевірки функціональної працездатності запропонованої конструкції клиново-призматичних робочих органів і встановити раціональні параметри для різних типів ґрунтів.

4) Розробити інженерну методику розрахунку параметрів клиново-призматичних робочих органів для утворення ТПГ у залежності від типу ґрунту та кількості ЛПО.

5) Визначити вплив деформації ґрунту під час утворення ТПГ клиново-призматичними робочими органами на сусідні підземні комунікації.

Об'єкт досліджень – процес взаємодії РО з ґрунтовим середовищем під час сумісного безтраншейного прокладання ЛПО.

Предмет досліджень – закономірності та параметри процесу взаємодії РО з ґрунтовим середовищем під час сумісного безтраншейного прокладання ЛПО.

Методи досліджень

У роботі використовувались теоретичні та експериментальні методи дослідження. Поставлені завдання вирішувались з урахуванням узагальнених результатів аналізу попередніх досліджень за літературними та патентними джерелами.

Наукова новизна та положення які виносяться на захист

1) вперше аналітичним шляхом отримані закономірності зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину наконечника РО, що дозволило отримати аналітичну залежність розрахунку його сили опору проколювання в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, діаметра та кількості футлярів для ЛПО, що прокладаються одночасно.

2) вперше отримані теоретичні залежності для визначення раціональних параметрів клиново-призматичного наконечника з виступами бокових граней.

3) розроблені залежності визначення тиску ґрунту на сусідні підземні комунікації, які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій.

Практичне значення отриманих результатів визначається:

– розроблена конструкція клиново-призматичного РО для одночасного прокладання групи ЛПО.

– розроблені алгоритми та програмне забезпечення для визначення параметрів і зусиль проколу клиново-призматичним РО.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно обґрунтована мета та ідея роботи, визначені задачі дослідження і наукові положення, вибрано методи дослідження, проведено математичне моделювання та аналітичні дослідження, обробка, аналіз і узагальнення отриманих результатів; зроблено висновки й розроблені рекомендації для практичного застосування отриманих науково-технічних результатів.

Апробація результатів дисертаційної роботи.

У повному обсязі дисертаційна робота обговорена на засіданні Підйомно-транспортної Академії наук України (м. Харків, 2021 р.); на міжкафедральному семінарі факультету «Транспортна інженерія» УДУНТ (м. Дніпро, 2022 р.).

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були оприлюднені на наукових форумах: International research and practice conference

«Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences»: (Radom, December 27-28, 2017); Міжнародній науково-практичній конференції «Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів» (Дніпро, 2018,); VII Міжнародній науково технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (Харків, 2018); 79 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 2019); 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (Dnipro, May 2020); Міжнародній науково-практичній конференції «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України» (Харків, 2023).

Відомості про кількість публікацій. Основні результати дисертації опубліковані в 17 наукових роботах, 1 з яких – монографія; 5 з яких – статті у наукових фахових виданнях України; 1 з яких – у фаховому англomовному виданні; 2 з яких – в наукових періодичних виданнях, що входять до наукометричної бази даних SCOPUS; 7 – в матеріалах міжнародних науково-технічних конференцій; отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг роботи. Повний обсяг дисертації становить 201 сторінки друкованого тексту і містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та п'ять додатків. Основну частину викладено на 154 сторінках. Список використаних джерел складається з 126 найменувань і займає 12 сторінок. Дисертація містить 73 рисунки і 14 таблиць, п'ять додатків на 47 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

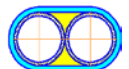
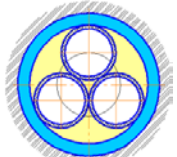
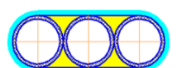
У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано її зв'язок з науковими програмами та темами, сформульовано мету, задачі та методи досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено дані щодо апробації результатів дисертації, їх впровадження у виробництво та публікації.

У розділі 1 «Аналіз конструкцій РО для безтраншейного прокладання лінійно протяжних об'єктів» проведено ретроспективний аналіз різних способів безтраншейного прокладання підземних комунікацій з зазначенням переваг та недоліків використання їх в умовах міської забудови.

Основними напрямками впровадження No-Dig технологій у світі є горизонтально спрямоване буріння (ГНБ), мікротонелювання, статичне проколювання ґрунту та протискування труб-футлярів, а також статичне проколювання з екскавациєю ґрунту.

На даному етапі розвитку безтраншейних технологій перспективним варіантом прокладання комунікацій є сумісне прокладання ЛПО способом статичного проколювання з використанням захисних труб-футлярів, безпосередньо в яких розміщують комунікації – кабелі, трубопроводи і т. ін. Аналізом використання корисної площі ТПГ встановлені найбільш ефективні схеми розташування футлярів ЛПО у ТПГ, а саме схеми 3, 5 (табл. 1). Слід відмітити, що саме для вказаних схем 3, 5, форма ТПГ значною мірою відповідає конфігурації клиново-призматичного РО.

Таблиця 1 – Варіанти та аналіз розташування комунікацій в ТПГ. Всі розрахунки проведені для труби $\varnothing 24$ мм (внутрішній $\varnothing 20$ мм) $\varnothing D_{омв} = 28$ мм (розмір ТПГ на 15-20% більший за розмір футляру)

№ п/п	Схеми розташування футлярів в ТПГ	Площа отриманої ТПГ, см^2 , блакитний колір	Площа необхідної ТПГ, см^2 , круг по дотичній	Площа, що пустує, см^2 , жовтий колір
1		$S_{ТПГ}=5,98 \text{ см}^2$	$S_{nom}=5,16 \text{ см}^2$	$S_n=0 \text{ см}^2$
2		$S_{ТПГ}=24,03 \text{ см}^2$	$S_{nom}=16,62 \text{ см}^2$	$S_n=8,31 \text{ см}^2$
3		$S_{ТПГ}=12,33 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=48,7\%$	$S_{nom}=9,45 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=43,2\%$	$S_n=1,14 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=86,3\%$
4		$S_{ТПГ}=27,72 \text{ см}^2$	$S_{nom}=19,29 \text{ см}^2$	$S_n=6,35 \text{ см}^2$
5		$S_{ТПГ}=18,68 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=32,6\%$	$S_{nom}=14,74 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=23,6\%$	$S_n=2,27 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta=65,2\%$

В Українській та світовій науковій періодиці значну увагу привертають до себе роботи вчених Кованька В. В., Пінчука В. А., Кравця С. В., Супонєва В. М. та закордонних дослідників Chehab A. G., Moor I. D., Erez N., Anna Pridmore, Jim Geisbush, у яких розглянуті активні та динамічні методи No-Dig технологій. Однак, в них недостатньо уваги приділено статичному проколюванню. Дослідження М. Najafi, Sanjiv Gokhale присвячені вибору та обґрунтуванню способу виконання робіт, з приведеним аналізом переваг та недоліків технологій. А в роботах Zhao Jun Ling Bian, особливу увагу приділяють безтраншейним технологіям спорудження та ремонту трубопроводів великої протяжності.

Найбільш зручними у практичному використанні, зокрема, для визначення сили проколювання під час улаштування ТПГ, є теорії описані в роботах С. В. Кравця, В. В. Кованька та В. М. Супонєва, у яких запропоновані формули, всі складові яких приймаються за нормативними документами або ж можуть бути отримані шляхом простих експрес-аналізів, при цьому враховують такі характеристики як тип ґрунту, його пластичність та вологість.

Проведеним оглядом та аналізом машин, їх РО, спеціального робочого обладнання та технологічних процесів, що використовуються під час безтраншейного прокладання ЛПО встановлено: 1) використовуються широка номенклатура та типорозміри машин різноманітного конструктивного виконання; 2) до недоліків обладнання і технологій слід віднести значні габарити машин та розміри робочої зони, велику

вартість обладнання та, відповідно, загальну вартість виконаних робіт, складність забезпечення точності прокладання.

Крім того, виявлено, що основні напрямки удосконалення технологічних процесів прокладання ТПГ полягають лише у модернізації наконечників РО за рахунок визначення раціональних кутів загострення та розмірів, або ж в інтенсифікації процесу шляхом прикладення вібраційного навантаження на РО. Традиційна конструкція РО – конусно-циліндричного наконечника – сумніву не підлягає, очевидно вважається «ідеальною».

Наведений перелік недоліків сучасного стану технологій безтраншейного прокладання ЛПО, з урахуванням обмеження за величиною робочої зони в умовах міської забудови, остаточно визначили напрямок пошуків – в бік застосування малогабаритного обладнання, що утворює ТПГ статичним способом, з можливістю корекції траєкторії та подальшим ступеневим розширенням ТПГ до потрібного розміру. У якості альтернативної конструкції РО прийнято клиново-призматичний наконечник, до особливостей і очікуваних переваг якого слід віднести: 1) зменшення зони деформації ґрунту при отриманні ТПГ; 2) зменшення впливу на ґрунтове середовище та сусідні комунікації; 3) зменшення роботи по деформації та переміщенню ґрунту, а це своєю чергою забезпечує суттєве зниження сили проколювання і підвищує енергоефективність процесу.

У розділі 2 «Теоретичні дослідження взаємодії клиново-призматичного РО з ґрунтовим середовищем» обґрунтовано гіпотезу взаємодії клиново-призматичних наконечників з ґрунтом при статичному проколюванні. Для оцінки ефективності застосування іноваційного клиново-призматичного РО виконувалося порівняння параметрів процесів утворення ТПГ з традиційним конусно-циліндричним РО.

Форма клиново-призматичного наконечника (рис. 1) утворюється з двох півконусів 1, що закінчуються півциліндрами 2, та клином 3 в середній частині, що обрамлений з боків півконусами 1, та закінчується плоскими поверхнями 4.

2.1. Опір зануренню клиново-призматичного наконечника визначається як сума опорів зануренню клинової частини та конусної частини (двох напівконусів).

Закон зміни нормального тиску ґрунту на лобову клинову поверхню клиново-призматичного наконечника (рис. 2, б) прийнято у вигляді

$$q_x^{кл} = E_{\sigma p} \frac{2x}{d}, \quad (1)$$

де $E_{\sigma p} = \frac{(1 + \omega) \rho_{mv}}{c_k \cdot \rho_{np}}$ – компресійний модуль, який визначається в компресійних при-

ладах за результатами випробувань зразків ґрунту в умовах одновісного статичного ступеневого навантаження без можливості поперечного розширення ґрунту;

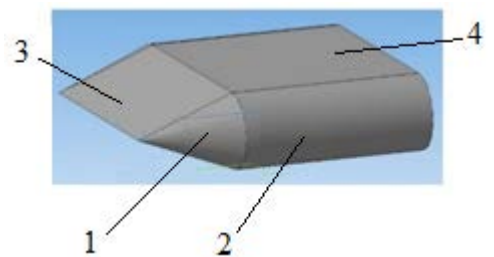


Рисунок 1 – Клиново-призматичний наконечник

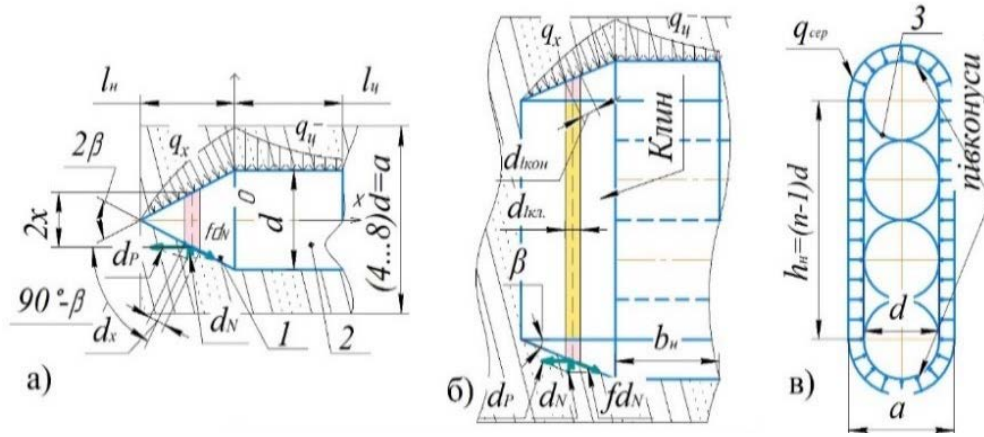


Рисунок 2 – Схема взаємодії клиново-призматичного РО з ґрунтом:
 а) конусна поверхня; б) клинова поверхня; в) профіль ТПІ з футлярами

$\rho_{тв}$ – щільність твердої фази ґрунту;

ρ_{np} – щільність ґрунту в природному стані;

c_k – коефіцієнт компресії ґрунту;

ω – природна вологість ґрунту;

ρ_x – змінна щільність ґрунту по висоті конуса визначається із рівності мас до та після проколювання:

$$(n-1)d^2\rho_{np} = (n-1)d(d-2x)\rho_x^{кл}, \quad (2)$$

d – діаметр лінійно-протяжного об'єкту (ЛПО);

n – кількість ЛПО, які одночасно прокладаються;

x – деформація ґрунту лобовою поверхнею наконечника.

Закон зміни нормального тиску ґрунту на конусну (бічну) поверхню наконечника (рис. 2,а):

$$q_x^{кон} = E_{zp} \left(\frac{2x}{d} \right)^2. \quad (3)$$

Лобовий опір занурення клину клиново-призматичного наконечника шириною $h_{кл} = (n-1)d$ та висотою d :

$$P_{пр.кл.}^{лоб.} = P_{кл.} + P_{кон.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + \frac{\pi}{8} d^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta), \quad (4)$$

де 2β – кут загострення клину;

f – коефіцієнт тертя ґрунту по клину;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту.

На бічні поверхні клиново-призматичного наконечника (півциліндри 2 та плоскі поверхні 4, рис. 1) діє тиск ґрунту, який створює додатковий опір від тертя по поверхні робочого органу (рис. 3):

$$F_{тр.} = [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right], \quad (5)$$

де b_n – довжина бокової поверхні наконечника;

a_q – коефіцієнт пропорційності, $a_q = \gamma_{zp} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)$;

φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Сумарний опір зануренню клиново-призматичного наконечника:

$$P_{\sum_{\text{прк.}}} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2 \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q h}{2} \right] \quad (6)$$

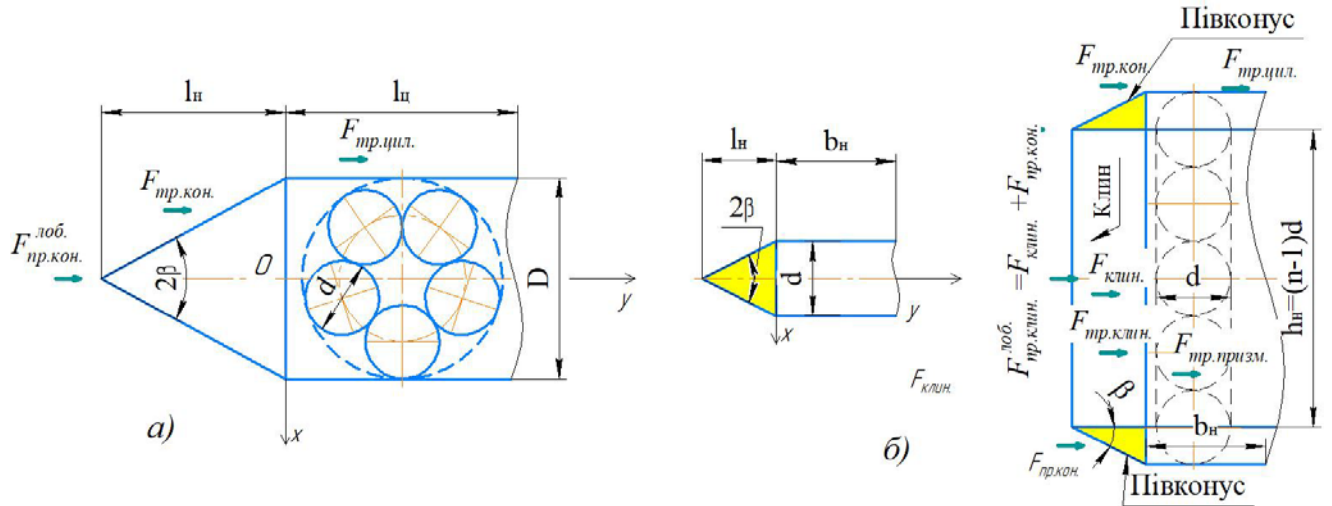


Рисунок 3 – Сили опору, що діють на РО в ґрунтовому середовищі:

а) на конусну поверхню; б) на клинову поверхню

2.2. Для встановлення ефективності застосування клиново-призматичного РО шляхом порівняльного аналізу, визначався також опір зануренню традиційного конусно-циліндричного наконечника.

Лобовий опір зануренню конусно-циліндричного наконечника (рис. 4) (для n – футлярів, що прокладаються одночасно, напр., схеми 2, 4, табл. 1):

$$P_{\text{пр.кон.}}^{\text{лоб.}} = \frac{\pi}{8} D^2 E_{zp} (1 + f \cdot c \cdot \operatorname{tg} \beta) = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + f \cdot c \cdot \operatorname{tg} \beta), \quad (7)$$

де $D = \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d$ – у загальному випадку для будь-якої кількості футлярів (рис.4).

Сумарний опір зануренню конусно-циліндричного наконечника:

$$P_{\sum_{\text{прк.}}} = \frac{\pi}{8} D^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) + 0,1\pi \left[\frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \right] f D \sigma_1 + \pi f D (l_y - 0,2) q_3, \quad (8)$$

де σ_1 – напруження на границі пружної і пластичної зон (визначили Кравець С. В. і Кованько В. В.);

l_y – довжина циліндричної направляючої РО (рис. 4);

q_3 – тиск ґрунту на бокові циліндричні поверхні РО (визначив Д. Н. Єшуткін).

Порівняння сумарного (загального) опору зануренню РО (клиново-призматичного і конусно-циліндричного) виконано на прикладі утворення ТПГ різних діаметрів для 2 футлярів ЛПО та для різних типів ґрунтів (рис. 5). На рис. 5 прийнято позначення: 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок; $\nabla - \nabla$ – клиново-призматичний наконечник; $\circ - \circ$ – конусно-циліндричний наконечник.

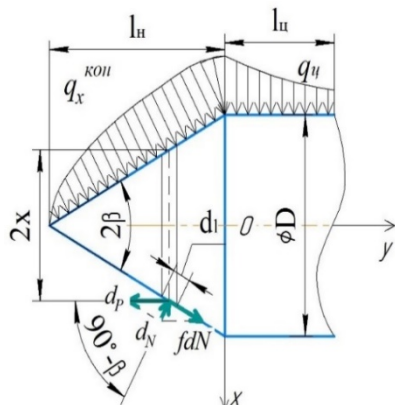


Рисунок 4 – Схема взаємодії конусно-циліндричного наконечника з ґрунтом

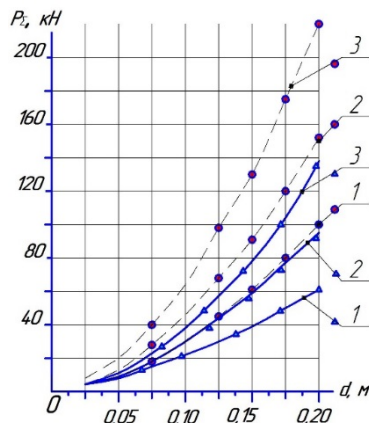


Рисунок 5 – Загальний опір зануренню РО (клиново-призматичного і конусно-циліндричного) для різних типів ґрунтів

Таким чином, можна зробити висновок про зменшення загального опору зануренню РО у випадку використання клиново-призматичного наконечника для різних типів ґрунтів у 1,5...1,8 рази.

Зменшення лобового опору при застосуванні клиново-призматичного наконечника при різних співвідношеннях діаметру ТПГ і діаметру футлярів та при різній кількості футлярів складає 1,2...1,8 разів.

2.3. Запропоновано конструкцію клиново-призматичного наконечника, у якого клинову частину виконано з виступами (рис. 6). Наявність виступу усуває дію пружних деформацій ґрунту при утворенні ТПГ та, відповідно, силу тертя ґрунту по контуру бічної поверхні РО (по калібруючій частині).

Мінімальна товщина виступу клинової частини наконечника $a_{кл.}^{min}$, що забезпечує ефект відсутності тертя ґрунту по контуру бічної поверхні РО:

$$a_{кл.}^{min} = a + \Delta a = \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V}\right) a = \left(1 + \frac{\sigma_1}{E_V}\right) d, \quad (9)$$

де E_V – модуль об'ємної деформації, $E_V = E_{zp} \cdot (1 + 2\xi)/3$;

ξ – коефіцієнт бічного тиску визначається за формулою Г. І. Покровського.

Зниження опору зануренню у разі використання клиново-призматичного РО з виступами при утворенні ТПГ для різних діаметрів футлярів та при кількості футлярів $n = 2$, для різних типів ґрунтів ілюструє рис. 7 (1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок). Примітно, що вказаний ефект виникає у досить вузькому діапазоні діаметрів футлярів і подальше збільшення діаметру футлярів нівелює його.

На опір зануренню РО впливають властивості ґрунту та глибина прокладання ТПГ, кількість футлярів та їх параметри, зокрема, діаметр. Діаметр ТПГ, при якому

наконечник з виступами не є ефективним, з урахуванням мінімального розміру клину за (9):

$$d_{\max} \geq \frac{8 f b_n (\pi + 2(n-1)) \left[2c \cdot \operatorname{tg}(0,25\pi + 0,5\varphi_0) + 0,5a_q \cdot h \right]}{(\pi + 4(n-1)) \left[\left(1 - \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 - 1 \right] E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta)} \quad (10)$$

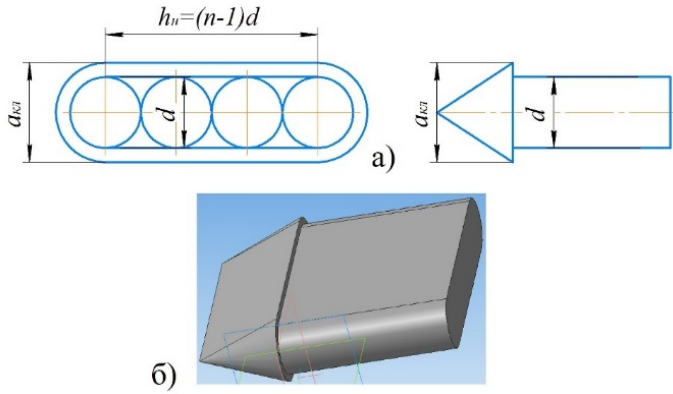


Рисунок 6 – Схема клиново-призматичного РО з виступами

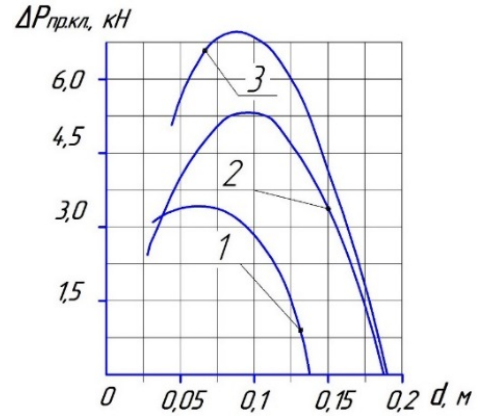


Рисунок 7 – Зниження опору зануренню клиново-призматичного РО з виступами

2.4. Одним із важливих, але часто шкідливих проявів, що супроводжує процес безтраншейного прокладання комунікацій – є вплив на суміжні підземні об'єкти.

Тиск ґрунту на суміжні підземні комунікації, які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій:

$$q_x = \frac{1 + \omega}{c_k} \rho_{mv} \left(\frac{1}{\rho_{np}} - \frac{1}{\rho_x} \right) = E_{zp} \left[1 - \frac{1}{1 + \left(1 - \frac{x}{a_{def}} \right) \left(\frac{2}{\lambda^2 - 1} \right)} \right], \quad (11)$$

де ρ_x – закономірність зміни щільності ґрунту в деформованій зоні;

λ – параметр, що характеризує величину зони пружно-пластичних деформацій ґрунту і залежить від типу ґрунту і глибини, на якій здійснюється деформування;

a_{def} – відстань, на яку деформується ґрунт під дією РО:

$$a_{def} = (\lambda^2 - 1) \frac{d}{2} = \left[\frac{\left(\gamma_{np} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right)^2 \operatorname{tg}^8 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{d}{2}. \quad (12)$$

Характер та показники впливу на суміжні підземні об'єкти залежно від виду РО та способу прокладання ТПГ наведено на рис. 8.

Зони ущільнення та тиску ґрунту на суміжні підземні комунікації визначалися на основі закону збереження маси ґрунту до і після ущільнення внаслідок деформації під дією РО. Значення тиску ґрунту при утворенні ТПГ клиново-призматичним

наконечником залежно від відстані деформування для різних типів ґрунтів та діаметрів футлярів наведено на рис. 9 (глибина прокладання $h=1.5$ м; кількість футлярів $n=5$ шт.; діаметр футляра: 1 - 100 мм, 2 - 200 мм, 3 - 300 мм).

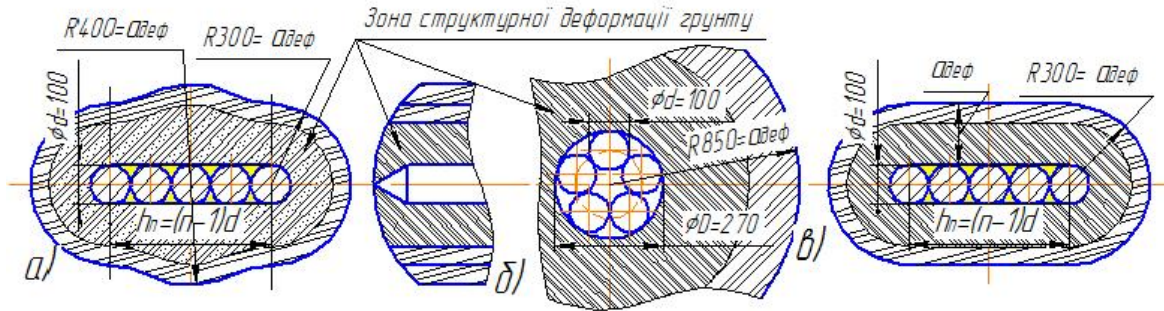


Рисунок 8 – Зони деформації та надмірного тиску ґрунту: а) клиново-призматичний РО (за 1 проход); б) конусно-циліндричний РО; в) клиново-призматичний РО (за 4 проходи)

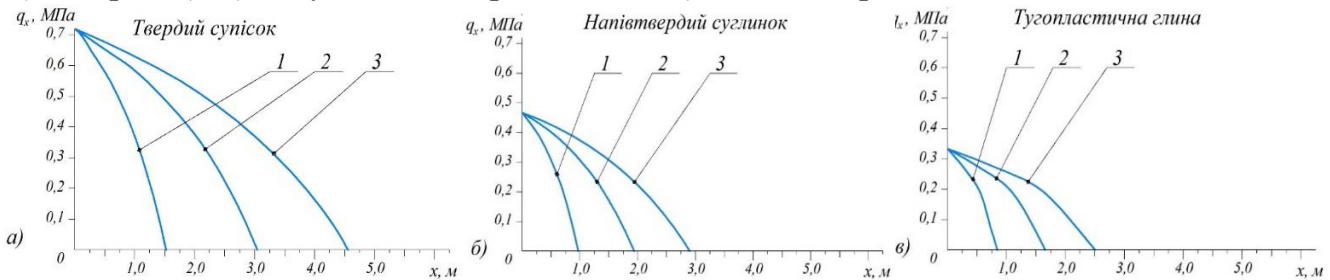


Рисунок 9 – Залежність тиску ґрунту на підземні комунікації від відстані деформування: а) твердий супісок; б) напівтвердий суглинок; в) тугопластична глина

Таким чином, встановлено, що найбільш суттєвий вплив на деформацію ґрунту і, відповідно, на суміжні комунікації при прокладанні ТПГ мають характеристики ґрунту, розміри та кількість футлярів для ЛПО.

2.5. Безтраншейні технології прокладання ТПГ можуть бути реалізовані в різний спосіб: 1) за один проход; 2) з «пілотним» проколом та наступним розширенням свердловини; 3) з «пілотним» проколом та наступним розширенням за декілька проходів РО. Якщо прокладання виконується після пілотного проколу діаметром d_l або після попереднього розширення, з урахуванням пружних (зворотних) деформацій ґрунту, то сумарний опір розширенню можна визначити як різницю між повним і пілотним опорами проколювання ґрунту.

Опір розширенню ТПГ для клиново-призматичного РО:

$$P_{\Sigma \text{ кл. рзш.}} = \left[\frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{zp} (1 + fctg\beta_k) \right] - \left[0,125\pi \left(d_l^2 - \frac{\sigma_1}{E_v} d_l^2 \right) \cdot E_{zp} (1 + fctg\beta) \right], \quad (13)$$

де β – половина кута при вершині пілотного конуса.

Опір розширенню ТПГ для конусно-циліндричного РО:

$$P_{\Sigma \text{ кон. рзш.}} = \left[\frac{\pi D_{pш.}^2}{8} E_{zp} (1 + fctg\beta_{кон}) \right] - \left[0,125\pi \left(d_l^2 - \frac{\sigma_1}{E_v} d_l^2 \right) \cdot E_{zp} (1 + fctg\beta) \right], \quad (14)$$

$D_{pш.}$ – діаметр розширюючого конуса, мм.

Діаграми порівняння сумарного опору занурення в ґрунт $P_{\Sigma прк.}$ для РО клиново-призматичної та конусно-циліндричної форми, який визначено за (6) та (8) при

вихідних умовах: діаметр футляра $D_f=100$ мм, кількість футлярів – $n=1\dots5$ шт, довжина калібруючої частини 300 мм, діаметр пілотного РО $d_l = 0,08$ м, глибина прокладання $h=1,5$ м – представлено на рис. 10.

Діаграми порівняння сумарного опору ступеневого розширення ТПГ $R_{\Sigma p_{\text{зш.}}}$ (за п'ять проходів, при тих же вихідних умовах), визначеного за виразами (13) та (14), показано на рис. 11.

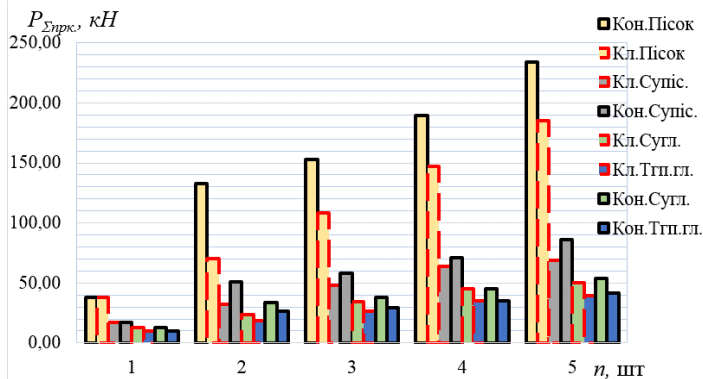


Рисунок 10 – Сумарний опір зануренню РО в ґрунт залежно від кількості футлярів та форми РО для різних типів ґрунтів

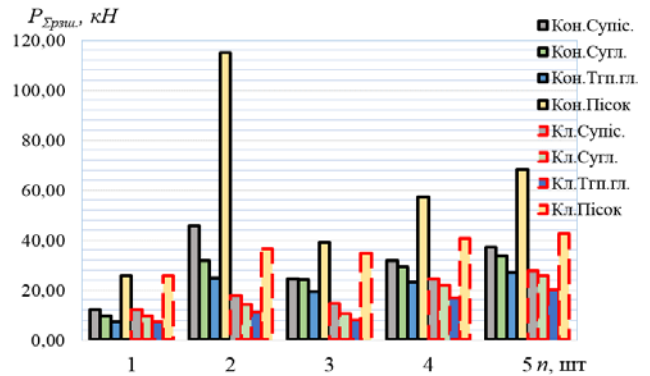


Рисунок 11 – Сумарний опір ступеневого розширення ТПГ залежно від кількості футлярів та форми РО для різних типів ґрунтів

Аналіз діаграм свідчить, що в першому та другому варіанті виконання ТПГ конічно-циліндричний РО має більші значення, а у варіанті розширення значення сил майже на половину менші в порівнянні з проколюванням. Високі показники опорів для піщаних ґрунтів пояснюються їх низькою здатністю до ущільнення.

В розділі 3 «Експериментальні дослідження процесів проколювання ґрунтів» виконано аналіз результатів лабораторних та натурних випробувань запропонованих конструкцій клиново-призматичного РО.

3.1. Наведено опис створеного лабораторного стенду для підтвердження робочої гіпотези взаємодії клиново-призматичного РО з ґрунтом та методологію виконання експериментальних досліджень.

Для пошуку та обґрунтування раціональних параметрів РО, для дослідження впливу процесу утворення ТПГ на сусідні комунікації використовувалися робочі органи різних типорозмірів (рис. 12), варіювалися розміри свердловин, та кількість футлярів, моделювалися різні властивості ґрунту. Обладнання лабораторного стенду забезпечувало контроль ущільнення та вологості ґрунту при визначених фізико-механічних характеристиках, глибину проходження та опір зануренню РО.

Характеристики ґрунту визначались профільною сертифікованою лабораторією ТОВ "Дніпрогеоальянс". Дотримання заданої точності одно-факторних експериментів, з ймовірністю не менше 0,95, забезпечувалося повторюваністю. Кількість дослідних ТПГ склала 24 свердловини. Отримані експериментальні значення параметрів фіксувалися в базу даних з подальшим опрацюванням та аналізом.

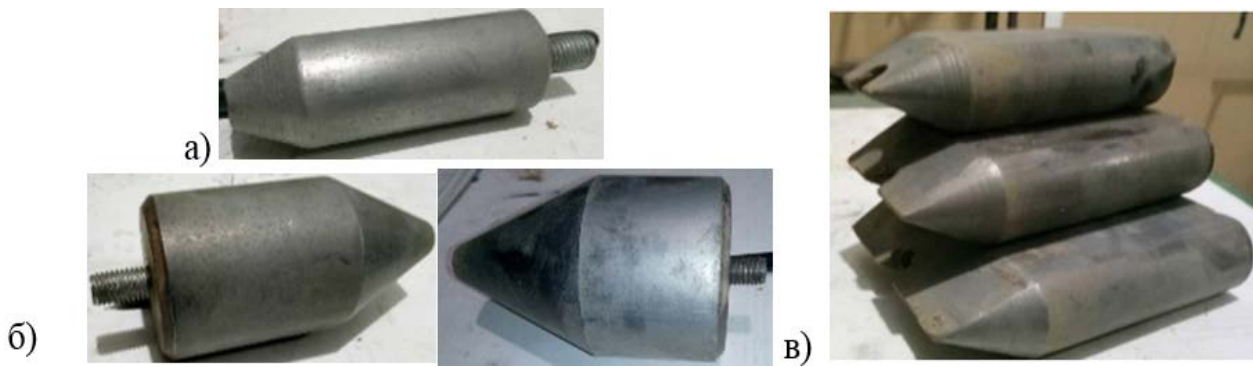


Рисунок 12 – Комплект робочих органів для лабораторних досліджень: а) «пілотний» конусний; б) конусно-циліндричні; в) клиново-призматичні

За результатами дослідів виконано порівняння теоретичних та експериментальних значень сумарного опору зануренню клиново-призматичного (рис. 13) та конусно-циліндричного (рис. 14) наконечників (грунт – пісок, глибина прокладання $h=0,7$ м, кількість футлярів $n=2-4$ шт.).

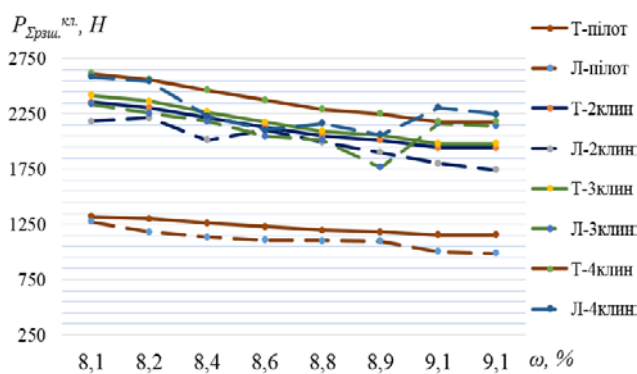


Рисунок 13 – Теоретичні та експериментальні значення сумарного опору розширення ТПІ клиново-призматичним РО

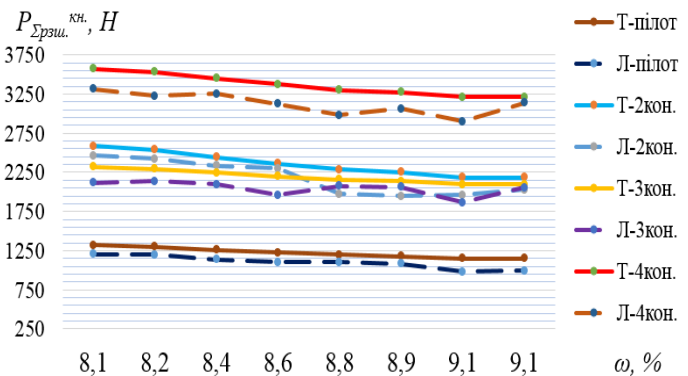


Рисунок 14 – Теоретичні та експериментальні значення сумарного опору розширення ТПІ конусно-циліндричним РО

Слід зазначити, що теоретичні значення опору є вищими за отримані дослідним шляхом, що пов'язане з неоднорідністю ґрунтового середовища, а деяка розбіжність пояснюється неоднорідністю його ущільнення. Використання конусно-циліндричного РО призводить до суттєвого збільшення робочих опорів.

Розрахункові енерговитрати процесу утворення ТПІ з поступовим розширенням отворів при використанні запропонованих РО клиново-призматичної форми (приведені до 1 м^3 зруйнованого середовища) мають істотно менші значення порівняно із застосуванням РО традиційної конусно-циліндричної форми. На рис. 15 виконано порівняння при параметрах ТПІ: діаметр футлярів 100 мм, кількість футлярів $n=1 \dots 5$, глибина прокладання комунікацій $h=1,5$ м. Особливо слід відмітити, що максимальне зменшення енерговитрат для клиново-призматичного РО спостерігається при прокладанні 2 футлярів.

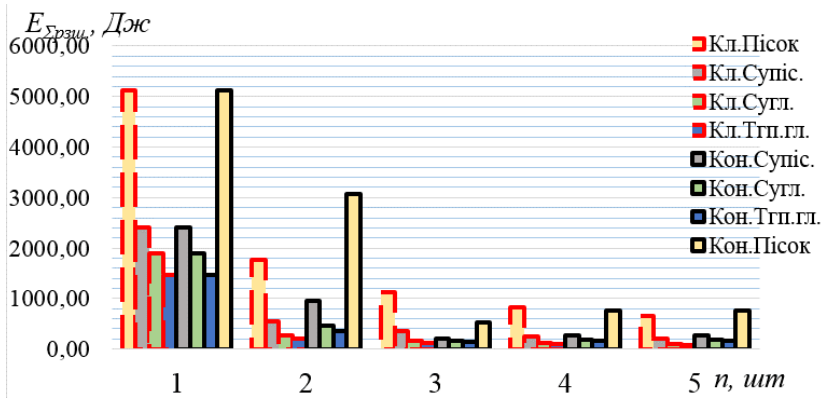


Рисунок 15 – Енерговитрати руйнування ґрунту при розширенні ТП РО клиново-призматичної та конусно-циліндричної форми залежно від кількості футлярів

3.2. Мета польових досліджень полягала у підтвердженні отриманих теоретичних положень та результатів лабораторних дослідів щодо ефективності запропонованого клиново-призматичного РО в реальних ґрунтових умовах порівняно з традиційним конусно-циліндричним РО. Розроблені та виготовлені натурні зразки РО для польових порівняльних досліджень показані на рис. 16, 17.



а)



б)

Рисунок 16 – Клиново-призматичні РО:
а) для 2 і 3 футлярів; б) у зборі з цанговими захватами та футлярами

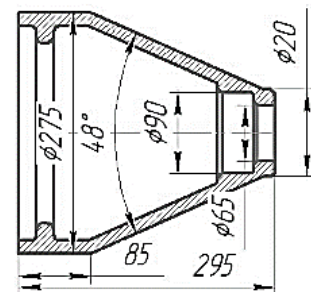
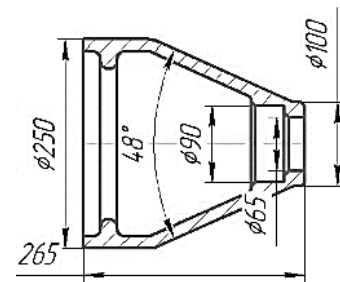


Рисунок 17 – Схеми конусно-циліндричних РО для прокладання трьох футлярів діаметром 90 мм

В якості силової установки для проведення дослідів використано установку МПК-30-100 (рис. 18) дообладнану п'єзоелектричним датчиком тиску з цифровим перетворювачем ЕСО-1 для спостереження та фіксації параметрів. На рис. 18 позначено: 1 – рама установки; 2 – силові гідроциліндри; 3 – редуктор для обертання на робочих штангах; 4 – керована «пілотна» голівка; 5 – гідророзподільники; 6 – п'єзоелектричний датчик тиску; 7 – перетворювач тиску ЕСО-1; 8 – персональний комп'ютер з програмним забезпеченням.

Польові порівняльні дослідження проводилися в умовах міської забудови, м. Дніпро. Безтраншейним способом під асфальтованими дорогами споруджувалися

короткі підземні переходи для комунікацій з ЛПО на 3 футляри з глибиною проходження 2,2 м. по 2 паралельні переходи: один – клиново-призматичним РО, інший конусно-циліндричним. За результатами проведених робіт побудовано графіки (рис. 19) залежності експериментальних значень опору проколювання $P_{\Sigma \text{ клин/кон рзш.}}$ від форми РО та кількості футлярів, що прокладаються, та розрахункові значення опору.

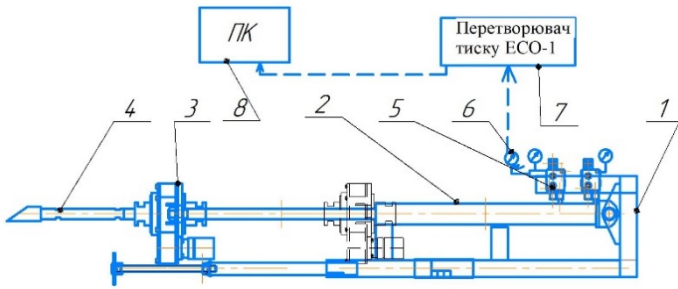


Рисунок 18 – Установка керованого статичного проколу ґрунту МПК-30-100 фірми ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ»

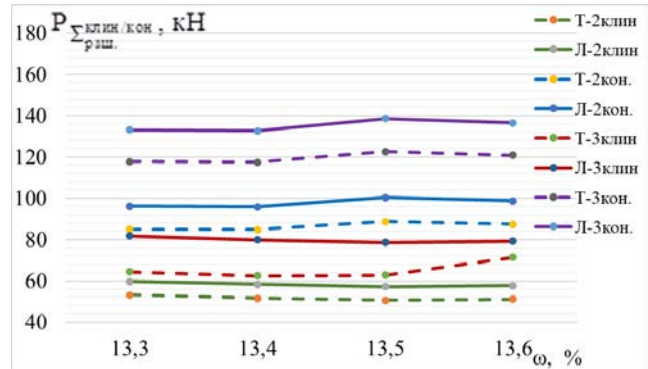


Рисунок 19 – Графік залежності сил проколювання **клиново-призматичними** та **конусно-циліндричними** наконечниками РО; Т – теорія, Л – експеримент

З графіка видно, що сили при використанні запропонованого клиново-призматичного РО до двох разів нижчі за значення сил при використанні конусно-циліндричним РО, що підтверджує правильність результатів теоретичних положень. Розходження теоретичних і експериментальних значень сил проколювання пояснюється значно вищим ущільненням масиву ґрунту під полотном дороги, а також зниженими показниками вологості.

В розділі 4 «Науково-практичні результати досліджень та алгоритми вибору і розрахунку машин та РО для проколювання технологічних порожнин у ґрунті» викладено інженерні методики визначення сили проколювання ТПГ при використанні РО різної форми. Використання методики дозволяє встановити можливість прокладання комунікацій необхідних розмірів на проектній глибині, а також можливість сусідства з іншими комунікаціями.

Перевірка ефективності створення свердловини з умови мінімізації опору ґрунту проколу виконується шляхом порівняння заданого діаметру проколу з розрахунковим максимально ефективним - раціональним діаметром $d_{ТПГ} \leq d_{рац}$:

$$d_{ТПГ} \leq d_{рац} = \frac{4 f b_n (\pi + 2(n-1)) \left(2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right)}{(\pi + 4(n-1)) \left(1 - \left(1 - \frac{\sigma_1}{E_V} \right)^2 \right) E_{zp} (1 + fctg\beta)}, \quad (15)$$

$$d_{рац} = 0,5 d_{\max}. \quad (16)$$

де $d_{рац}$ – раціональні розміри ТПГ, що можна отримати методом проколювання.

Необхідною умовою можливості створення ТПГ під дорожнім покриттям є мінімальна глибина h або відстань до сусідніх комунікацій, що має бути більшою від зони руйнування ґрунту, яка утворюється при його деформації навколо РО під час проходження свердловин:

$$h \geq a_{def} = (\lambda^2 - 1) \frac{d}{2} = \left[\frac{\left(\gamma_{np} h + \frac{c}{tg \varphi_0} \right)^2 tg^8 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1^2} - 1 \right] \frac{d}{2} \quad (17)$$

Послідовність визначення сили проколювання ґрунту РО полягає у наступному:

- Визначити тип ґрунту, його вологість та число пластичності. За типом ґрунту вибрати стандартизовані значення фізико-механічних характеристик.
- Вибрати розмір, тип та кількість футлярів, що прокладаються одночасно (дізнатись про додаткові вимоги розміщення електрокабелів високої напруги).
- Визначити силу проколювання ґрунту РО необхідного розміру.
- Визначити силу тертя бурових штанг та групи футлярів по ґрунту ТПГ при прокладанні.
- Порівняти отримані значення силових параметрів з характеристиками робочого обладнання, зробити висновок про можливість виконання робіт за один прохід, чи за декілька. Необхідно резервувати близько 25% потужності робочої установки на непередбачувані фактори: обвал, тверда перепона, ґрунт, що налипає на футляри тощо.
- Виконати перевірку на ефективний розмір футляра та глибину прокладання комунікації.

Розроблено алгоритм та програмне забезпечення для визначення вихідних даних для розрахунку робочих зусиль проколювання або розширення ТПГ клиново-призматичними та конусно-циліндричними РО при виконанні проектів будівництва підземних комунікацій.

Інтерфейс програми, дозволяє в режимі діалогу з оператором за запропонованими вихідними даними, визначити тип ґрунту та його фізико-механічні характеристики; обрати тип, кількість футлярів ЛПО, їх характеристики жорсткості та коефіцієнти тертя; визначити силу протягування. Програма вибирає необхідні параметри установки статичного проколювання та видає рекомендації по кількості етапів проходження ТПГ.

На замовлення фірми «ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ» (м. Дніпро) розроблена «Технологічна карта на безтраншейне прокладання групи футлярів діаметром до 180 мм РО клиново-призматичної форми або одиноких футлярів до 400 мм РО конічно-циліндричної форми, установками статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті МКП-30-100» В технологічній карті зазначені технологія та правила безпечного виконання робіт, вимоги охорони праці, вимоги до якості робіт, що полегшує роботу інженерного персоналу при проектних роботах.

Економічна ефективність, від використання нового клиново-призматичного та традиційного конусно-циліндричного РО, розрахована в умовах експлуатації фірми «ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ», м. Дніпро. Порівнювались установки статичного

проколювання МКП-30-100 та установка горизонтально спрямованого буріння ГНБ-800/300, які використовувались на схожих об'єктах та з аналогічними РО. При виконанні робіт використовувалось «пілотне» буріння, з наступним розширенням ТПГ до необхідного розміру. Керування виконувалось «пілотами» зі скошеним наконечником та локаційним зондом для керованого проходу стартового отвору. Обидві установки працюють з робочих приямків, для малих розмірів ТПГ використовують статичний прокол з затягування на останньому етапі робіт групи футлярів.

Остаточо (станом на 05.2022р), на основі розрахунків встановлено, що використання нового клиново-призматичного РО та установки МПК-30-100 на 27,68% економічно вигідніше, ніж використання конусно-циліндричного РО з базовою установкою ГНБ-800/300.

ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

1) Аналізом сучасних технічних та наукових літературних джерел, а також передових досягнень в галузі No-Dig технологій прокладання підземних ЛПО отримано:

- встановлено, що статичні методи формування ТПГ у ґрунті мають значні обмеження по використанню, що пов'язані з великою зоною радіального ущільнення ґрунту, що обмежує його використання в умовах щільного розташування комунікацій та розмірів ТПГ до 250 мм, що не забезпечує вимоги сьогодення, розмір ТПГ складає близько 400 мм, а довжина проходки 100 м;

- визначено, що підвищити ефективність використання установок статично-го проколювання ТПГ відповідно до визначених умов можливо за рахунок керованості створення лідерної свердловини, зменшення зони деформації ґрунту та впливу на прилеглі комунікації за рахунок використання клиново-призматичних РО та якіснішого заповнення порожнини отвору комунікаціями.

2) Обґрунтовано форму й конструкцію РО клиново-призматичної форми для формування ТПГ, які базуються на наступних підходах:

- вперше було запропоновано наконечники РО клиново-призматичної форми для одночасного прокладання декількох футлярів при монтажі ЛПО – патент;
- для визначення закономірності розподілу тиску ґрунту на поверхнях РО вперше застосовано закон збереження маси ґрунту до і після його деформування;
- запропоновано послідовність визначення робочих зусиль в процесі створення ТПГ з урахуванням геометричних параметрів наконечників РО та фізико-механічних характеристик ґрунтів.

3) Розроблено послідовність визначення сили статичного проколу ґрунту клиново-призматичним наконечником, який включає:

- розробку аналітичних закономірностей зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину та конуса наконечника РО, що дозволило отримати розрахункові залежності сили від діаметра та кількості ЛПО, що прокладаються одночасно та фізико-механічних властивостей ґрунту;

- визначення величини сили тертя ґрунту по бічних поверхнях клинової, конічної, призматичної та циліндричних частин наконечника, яка сягає 40-60% від загального опору просування РО;

- визначення еквівалентного і оптимального розмірів виступів клинової частини клиново-призматичного РО, що дозволяє знизити опір його просування до 25%;

- встановлення максимального зниження сили проколювання ґрунту еквівалентним клиново-призматичним наконечником, що має місце для ТПГ висота якого у 2 рази менша за максимально-граничний розмір. Якщо необхідний розмір більший за це значення, то роботи виконують в декілька етапів з послідовним розширенням ТПГ до необхідного значення;

- визначено тиск ґрунту на сусідні комунікації та зони можливого руйнування при формуванні ТПГ з використанням клиново-призматичного РО.

4) Розроблена методика експериментальних польових досліджень статичного проколу ґрунтів і експериментальна установка з натурними зразками наконечників РО, створено лабораторний стенд, що дозволило відтворити процеси та підтвердити їх працездатність запропонованої теорії. Результати досліджень підтвердили теоретичні положення, отримання геометричних параметрів РО, їх впливу на опір переміщення в ґрунті залежно від його фізико-механічних властивостей. Відмінність Розходження дослідних та розрахункових значень не перевищує 15%, це пов'язано зі зниженням вологості ґрунту та збільшення щільності земляного масиву під полотном дороги на 1,5% - 2%, що суттєво впливає на розрахункові значення, більш точні параметри вологості не можливо визначити з приямків.

5) Отримані в дисертації залежності лягли в основу написання програми для визначення сил проходження РО в ґрунті, та вибору енергоощадного способу отримання ТПГ для прокладання групи футлярів способом статичного проколювання, або перевірки можливостей обладнання для виконання робіт.

6) Обґрунтування форми й конструкції:

- розроблено методику створення вискоєфективних клиново-призматичних наконечників РО для статичного проколювання ТПГ в залежності від розмірів та кількості футлярів, що довжини й траєкторії траси, умови залягання комунікації по глибині та властивостями ґрунтового середовища;

- розроблені інженерні методики визначення раціональних параметрів РО для статичного проколу, що використовується у стислих міських умовах.

7) Здійснено впровадження результатів дисертаційної роботи, що полягає:

- у проектуванні малогабаритних установок статичного керованого проколювання ТПГ для ЛПО, проектуванні та виготовленні клиново-призматичних робочих органів РО для отримання ТПГ в піщаних (обмежено), супіщаних, суглинистих та глинистих ґрунтах без твердих включень будь-якої вологості підприємствами ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ» та ТОВ «Алрус»;

- у розробці технологічної карти «Технологічна карта на безтраншейну прокладку групи футлярів діаметром до 180 мм, або одиноких футлярів до 500 мм, установками статичного керованого проколювання технологічних порожнин у ґрунті»;

- у практичному використанні програмного забезпечення при проектуванні трас прокладання ЛПО установками МП-25 та МПК-30-100, що експлуатуються понад три роки в спеціалізованій будівельній компанії: ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ» та ТОВ «Алрус»; та підтвердило можливість зниження собівартості прокладання комунікацій до 30% за рахунок зменшення об'єму земляних робіт, зростання довжини переходу, темпів та якості робіт, малих габаритів і ваги та високої потужності установок;

– у навчальному процесі при вивченні студентами спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» спеціальних дисциплін «Машини для земляних робіт», «Машини для колійних робіт».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Кравець, С., Супонев, В., Посмітюха, О. & Балесний, С. (2021). Наукові основи та практика створення мінімально енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті. Монографія. Харків. Режим доступу: <http://eadnurt.diit.edu.ua/jspui/handle/123456789/14460>.

Статті у міжнародній наукометричній базі даних SCOPUS

2. Posmitiukha, O., Hlavatskyi, K., Kravets, S., Suponyev, V. and Koval, A. (2020). Analytical method of determining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure tracks. 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020), Dnipro, Ukraine, Volume 985. DOI 10.1088/1757-899X/985/1/012033

3. Posmituha, O., Kravets, S., Suponyev, V. & Hlavatskyi, K. (2018). Determination of equivalent and optimal sizes of wedge tip from flange for the static perforation of soil. 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud-2018). Section: Railways, Subways and Industrial Transport. Article Number-01011, 230. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201823001011>.

Статті у наукових фахових виданнях України

4. Посмітюха, О. (2023). Теоретичне визначення сил розширення технологічної порожнини у ґрунті клиново-призматичними та конусно-циліндричними робочими органами. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. (2 (101)). DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2023.101.2.80.

5. Посмітюха, О., Кравець, С. & Супонев, В. (2017). Аналітичний спосіб визначення опору занурення конусного наконечника в ґрунт. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Подъёмно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. (97), 91-98. http://nbuv.gov.ua/UJRN/smmpm_2017_97_14.

6. Кравець, С., Посмітюха, О. & Супонев, В. (2017). Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конусно-циліндричного наконечника з виступами для проколювання ґрунту. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. (4(70)), 89-97. http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdnuzt_2017_4_12. (Index Copernicus).

7. Посмітюха, О. & Главацький, К. (2012). Обґрунтування поперечного перерізу безтраншейно утворених технологічних порожнин у ґрунті для комунікацій. Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та: сб. науч. тр. (57), 195-202. <https://crust.ust.edu.ua/items/5fd71740-c095-4d7b-b91c-8772cd7ecef3>.

8. Посмітюха, О. & Главацький, К. (2012). Методи безтраншейного утворення технологічних порожнин у ґрунті для прокладання комунікацій. Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та: сб. науч. тр. – Вып. (57), 214-221. <http://dspace.khadi.kharkov.ua/dspace/handle/123456789/356>.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав.

9. Posmituha, A. Kravets, S., Suponyev, V., & Kulazhenko, Y. (2018). Determination of the size of the seal zone and the pressure of the soil on underground communications in the process of deformation of the soil by the wedge tip. INDUSTRIAL AND TECHNOLOGY SYSTEMS. Published online: (5, № 1(43)), 11-16. URL: <http://journals.uran.ua/tarp/article/view/146626/146478>. (Index Copernicus).

Матеріали конференцій та тези

10. Посмітюха, О. (2023). Використання клиново-призматичних робочих органів для прокладання підземних комунікацій способом статичного проколу ґрунту. Міжнародна науково-практична конференція «Розбудова і відновлення машинобудівного комплексу України-2023». 174-177.

11. Posmitiukha, O., Hlavatskyi, K. & Kravets, S. (2020). Analytical method of determining the movement resistance of a tip for forming rectangular technological hole in the lower structure. Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження: тези доп. XV Міжнар. наук.-техн. конф. / Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 138-139. DOI: 10.1088/1757-899X/985/1/012033

12. Посмітюха, О., Главацький К. & Кулаженко, Є. (2019). Моделювання процесу проколювання ґрунту плоским клиновим робочим органом для отримання горизонтальних порожнин у ґрунті. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 79 Міжнар. - практ. конф., Дніпров. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. 244-245.

13. Посмітюха, О., Кравець, С., Супонев, В. & Главацький, К. (2018). Використання плоского робочого органу для прокладання підземних комунікацій способом статичного проколу ґрунту. Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф., Укр. держ. ун-т залізн. трансп., 51-52.

14. Посмітюха, О. & Кравець, С. (2018). Експериментальні дослідження проколу ґрунту наконечником для формування прямокутної порожнини. Підвищення ефективності піднімально-транспортних, будівельних, дорожніх машин і комплексів: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф, Дніпропетр. нац. ун-т зал. трансп. ім. акад. В. Лазаряна., 35-36.

15. Посмітюха, О. П. (2017). Про використання способу проколу ґрунту при горизонтально направленому бурінні // Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: International research and practice conference, Republic of Poland, - Radom, 2017, 35-36.

16. Посмітюха, О. П. & Главацький, К. (2013). Дослідження безтраншейного утворення технологічних порожнин у ґрунті (ТПГ) для прокладки комунікацій буровщільнювальним робочим органом (БУРО). Розвиток наукової школи транспортної механіки: тези доп. Міжнар. Науково-техніч. конф., ДНУЗТ, 58-59.

17. Пат. 144598 Україна. Пристрій для безтраншейної прокладки комунікацій. Посмітюха О. П., Главацький К. Ц., Кравець С. В., Супонев В. М. Скоблюк М. П. (Україна); заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № u202002964; заявл. 18.05.2020; опубл. 12.10.2020, Бюл. № 19. – 5 с.

АНОТАЦІЯ

Олександр Посмітюха Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.04 «Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт» (13 – Механічна інженерія). – Український державний університет науки і технологій Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2023.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми забезпечення більш ефективного формування технологічних порожнин у ґрунті (далі ТП) для безтраншейного прокладання декількох лінійно-протяжних об'єктів (далі ЛПО) розподільних підземних комунікацій шляхом узагальнення наукових основ створення установок і робочого обладнання (далі РО), обґрунтування їх раціональних конструктивних параметрів, розширення області використання та технологічних можливостей статичних методів формування ТП для ЛПО.

В роботі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано об'єкт, предмет, мету і завдання дослідження, описано методи дослідження, а також визначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; надано інформацію про апробацію та публікації результатів дисертаційного дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- вперше аналітичним шляхом отриманої закономірності зміни тиску ґрунту на бокових гранях клину наконечника РО, що дозволило отримати аналітичну залежність розрахунку його сили опору проколювання в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту, діаметра та кількості ЛПО, що прокладаються одночасно;
- вперше отримані теоретичні залежності для визначення оптимальних параметрів клиново-призматичного наконечника з виступами бокових граней;
- розроблені узагальнених теоретичних залежностей для визначення тиску ґрунту на сусідні підземні комунікації, які потрапляють у зону дії пружно-пластичних деформацій.

Результатом досліджень дисертаційної роботи стала методика розрахунку конструктивних параметрів клиново-призматичних наконечників РО для отримання ТП в залежності від типу ґрунту та кількості ЛПО, методику визначення впливу наконечників РО на сусідні підземні комунікації, яка впроваджена в ТОВ «МБК» СІНЕРГІЯ», м. Дніпро, (акт впровадження від 25.05.2021 р.), ПФ "Алрус", м. Дніпро, (акт впровадження від 20.05.2021 р.)

Результати досліджень використано в навчальному процесі при підготовці фахівців у рамках дисципліни «Машини для колійних робіт» та «Землерийні машини», що викладаються на кафедрі «Прикладна механіка та матеріалознавство» факультету «Транспортна інженерія» Українського державного університету науки і технологій.

Практичне значення полягає в наступному:

- створена конструкція клиново-призматичного наконечника робочого органу ґрунтопроколюючої установки для одночасного прокладання групи ЛПО;
- розроблені алгоритми та програмне забезпечення для визначення параметрів і зусиль проколу клиново-призматичними робочими органами.

Економічний ефект від впровадження клиново-призматичного РО для сумісного безтраншейного прокладання ЛПО проявляється за рахунок зниження собівартості розробки ТПІ шляхом зменшення циклів розширення та збільшення експлуатаційної продуктивності.

Ключові слова: технологічна порожнина, лінійно протяжний об'єкт, ґрунт, клиново-призматичне робоче обладнання.

ABSTRACT

O. Posmitiukha Creation and substantiation of the parameters of the working body for the compatible trenchless laying of linear and longitudinal objects. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.05.04 "Machines for earth, road and forestry works"

(13 - Mechanical engineering). - Ukrainian State University of Science and Technology of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro, 2023.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and applied problem of ensuring the more effective formation of technological cavities in the soil (hereinafter TCS) for trenchless laying of several linear-long objects (hereinafter LLO) of distribution underground communications by summarizing the scientific foundations of the creation of installations and working equipment (hereinafter WE), substantiation of their rational design parameters, expansion of the field of use and technological possibilities of static methods of forming TCS for LLO.

The work substantiates the relevance of the topic, formulates the object, subject, goal and task of the research, describes the research methods, and also defines the connection of the work with scientific programs, plans, topics; information about the approval and publication of the results of the dissertation research is provided.

The scientific novelty of the obtained results is as follows:

- for the first time, analytically obtained regularity of soil pressure changes on the side faces of the wedge of the WE tip, which made it possible to obtain an analytical dependence of the calculation of its puncture resistance depending on the physical and mechanical properties of the soil, the diameter and the number of LLO laid simultaneously;
- for the first time obtained theoretical dependences for determining the optimal parameters of a wedge-prismatic tip with protruding side faces;
- developed generalized theoretical dependencies for determining soil pressure on nearby underground communications, which fall into the zone of action of elastic-plastic deformations.

The practical meaning is as follows:

- the design of the wedge-prismatic tip of the working body of the soil-piercing installation for simultaneous laying of the LLO group was developed;
- developed algorithms and software for determining the parameters and efforts of piercing by wedge-prismatic working bodies.

The economic effect of the introduction of the wedge-prismatic RO for the compatible trenchless laying of the LLO occurs by reducing the cost of development of the TCS by reducing the expansion cycles and increasing the operational productivity.

Key words: technological cavity, linearly extended object, soil, wedge-prismatic working equipment.

