

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Факультет «Транспортна інженерія»
Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Дослідження впливу форми бічної поверхні робочого органи при формуванні технологічної порожнини у ґрунті

за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2226

(підпис студента)

/Денис Мальцев /

Керівник:

(підпис)

/Олександр ПОСМІТЮХА /

Нормоконтролер:

(підпис)

/Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Faculty of Transport Engineering
Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic:

Study of the influence of the shape of the side surface of the working body during the formation of a technological cavity in the soil

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПІМ2226 / Denys Maltsev /

Scientific Supervisor:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

Normative controller:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Факультет «Транспортна інженерія»
Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: **Дослідження впливу форми бічної поверхні робочого органи при формуванні технологічної порожнини у ґрунті**

за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання»

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2226

(підпис студента)

/Денис Мальцев /

Керівник:

(підпис)

/Олександр ПОСМІТЮХА /

Нормоконтролер:

(підпис)

/Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Дніпро – 2024

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies
Faculty of Transport Engineering
Department of Applied Mechanics and Materials Science

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic:

Study of the influence of the shape of the side surface of the working body during the formation of a technological cavity in the soil

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: IIM2226 / Denys Maltsev /

Scientific Supervisor: / Oleksandr POSMITIUKHA /

Normative controller: / Oleksandr POSMITIUKHA /

Dnipro – 2024

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія
Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство
Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)
Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
_____ Сергій РАКША
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу _____ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
студенту _____ Мальцеву Денису Олеговичу

1. Тема роботи: **Дослідження впливу форми бічної поверхні робочого
органу при формуванні технологічної порожнини у ґрунті**

Керівник роботи: _____ ПОСМІТЮХА Олександр Петрович, ст. викл.

затверджені наказом від _____ "02" грудня 2022_р. №1194ст_____

2. Строк подання студентом роботи: 20.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Спосіб прокладання комунікацій – безтраншейний,
статичне проколювання, ґрунти – піски, суглинки, глини, форма робочих органів
– конусні, клинові

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Огляд сучасних безтраншейних технологій

4.2 Теоретичні дослідження впливу робочих органів на ґрунт

4.3 Дослідження впливу форми робочих органів процес проколу

5. Перелік графічного матеріалу:

Графіки залежності сили проколювання від форми РО, Графіки площі ТПГ від
форми РО; Графіки тиску на РО бокову поверхню РО, Графіки сумарного тиску
РО

від вологості

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Охорона праці			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд безтраншейних технологій	27.11-03.12.23	30%
2	Теоретичні дослідження впливу форми робочих органів на силу проколювання	18-24.12.23	60%
3	Дослідження впливу робочих органів на підземні комунікації	08-14.01.24	100%
4			
5			
6			

Студент

_____ (підпис)

Денис Мальцев

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ПОСМІТЮХА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 61 сторінка

Найменування роботи: Дослідження впливу форми бічної поверхні робочого органу при формуванні технологічної порожнини у ґрунті.

Ілюстрації: схем _____; рисунків 30 _____;
графіків _____;
таблиць 5 _____.

Ключові слова: ґрунт, футляр, отвір, конічний робочий орган, клиновий робочий орган, плоский робочий орган, короб, пісок

Текст реферату:

Метою кваліфікаційної роботи є виконати теоретичні розрахунки плоских робочих органів з прямокутними торцями для отримання отворів у ґрунті при прокладанні групи лінійно-протяжних об'єктів 2-3 штуки.

Для досягнення поставленої мети в роботі було проведено огляд теорій раніше отриманих в даній царині українськими вченими Кравцем С.В та Супоневим В.М., що показали ефективність використання робочих органів плоскої форми для 2-3 футлярів, за рахунок зменшення пустот, а відповідно зменшення об'єму ґрунту який підлягає деформації та ущільненню. Клиновий робочий орган має мінімальну площу але при цьому є доволі складним у виготовленні, заміна півконусів на клини зменшує витрати на створення робочих органів для прокладання комунікацій або дослідницьких робіт. Проведені експерименти підтверджують теоретичні викладки, що показує правильність досліджень.

ВСТУП	2
1. МЕХАНІЗАЦІЯ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ КОМУНІКАЦІЙ	3
1.1. Підземні комунікації в містах проблеми експлуатації та монтажу	3
1.2. Методи прокладання підземних комунікацій	6
1.3. Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій	7
1.3.1. Горизонтально спрямоване буріння ГНБ	8
1.3.2. Горизонтальношнекове буріння та мікротонелювання	11
1.3.3. Статичні та динамічні методи проколу ґрунту, вібропроколи	14
1.3.4. Спосіб розкатного буріння	16
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КЛИНОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ	18
2.1. Обґрунтування форми та конструкції РО	18
2.2. Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО	20
2.3. Теоретичне визначення сил проколювання ґрунту плоским робочим органом	24
2.4. Перевірка теоретичних досліджень експериментами	39
2.5. Результати досліджень	46
ВИСНОВОК	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	50

					ДІТ. 630000. 306. КРПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Мальцев			Дослідження впливу форми бічної поверхні робочого органу при формуванні технологічної порожнини у ґрунті	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Посмітюха					5	61
<i>Реценз.</i>						УДУНТ, гр. ПМ2226		
<i>Н. Контр.</i>		Посмітюха						
<i>Затверд.</i>		Ракша						

ВСТУП

Інфраструктура сучасних мегаполісів та маленьких містечок містить велику кількість підземних комунікацій до яких відносяться водопостачання та водовідведення, газопостачання електричні, телефонні та Інтернет мережі. І більша частина їх знаходиться під землею.

Ремонт, заміна та аварійне відновлення пов'язані з розкопкою ґрунту та подальшим відновленням ландшафту або асфальтного покриття. Альтернативним способом виконання робіт є безтраншейні технології.

Використання безтраншейних технологій за кордоном на законодавчому рівні закріплена для міст або при проходженні під перешкодами: автомобільні шляхи газогони, залізничні колії тощо. А при переході через русла річок або під греблями альтернативи безтраншейних технологій загалом немає.

Разом з цим велика вартість обладнання спонукає інженерів створювати свої машини та установки, що мають аналогічні або близькі характеристики та мають набагато меншу вартість.

Саме тому метою даної розробки є створення робочих органів для статичного проколу з проходом по керованій траєкторії з подальшим розбурюванням отвору до потрібного розміру, для послідовного ущільнення стінок отвору розширюючими робочими органами до необхідного розміру з одночасною протяжкою труб-футлярів.

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

1. МЕХАНІЗАЦІЯ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ КОМУНІКАЦІЙ

1.1. Підземні комунікації в містах проблеми експлуатації та монтажу

Підземні інженерні мережі є найважливішим елементом інженерного устаткування [1] сучасного міста і характеризують ступінь його розвитку та благоустрою. У зв'язку із забудовою нових житлових районів і зносом старих інженерних мереж, підземні комунікації кожного міста знаходяться в стані безперервного розвитку та реконструкції. Інженерними мережами (рис. 1.1) називають трубопроводи для подачі під тиском питної і технічної води, повітря, газу, нафти і інших промислових продуктів і матеріалів, відводу (самопливом) зливових, побутових та виробничих стоків, а також високовольтні і слабкострумкові кабелі і повітряні лінії електропередач і зв'язку.

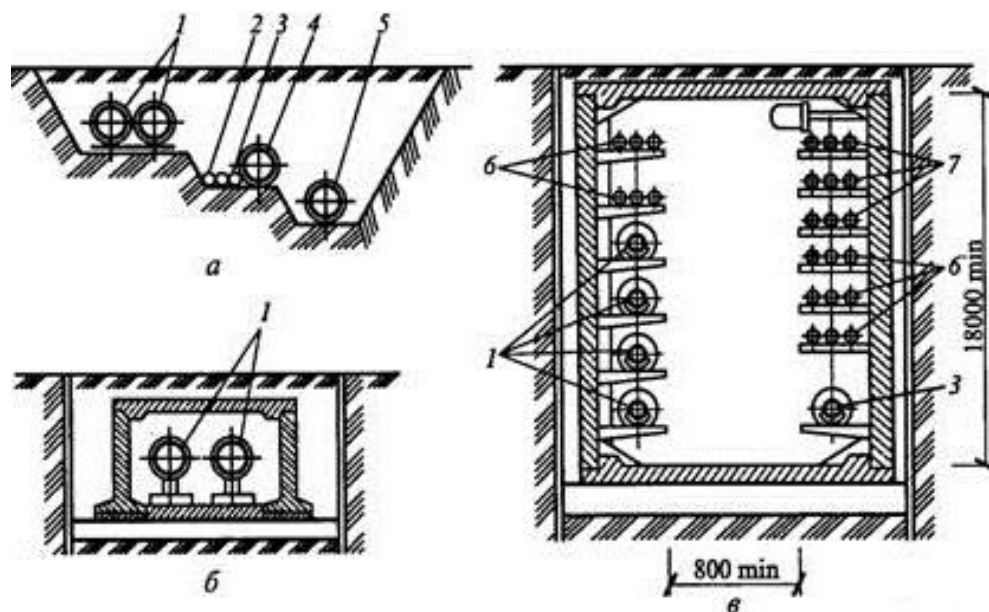


Рис. 1.1. Приклад розміщення інженерних мереж: а – в загальній траншеї; б – в непрохідному колекторі; в – в прохідному колекторі; 1 – тепломережа; 2 – газопровід; 3 – водопровід; 4 – водостік; 5 – каналізація; 6 – кабелі зв'язку; 7 – силові кабелі

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Відповідно до нормативних документів ДБН В.2.5–74:2013. «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування», ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. «Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації» та ДБН Б.2.2-12:2019. "Планування і забудова територій", трубопроводи, що транспортують питну воду [2-4], рекомендується розміщувати вище каналізаційних і вище технологічних трубопроводів з рідинами з неприємним запахом або отруйними на відстані не менше ніж 0,4 м.

При перетині мереж з іншими мережами та спорудами відстані по вертикалі (у просвіті) слід приймати не менше ніж [5-12]:

– між трубопроводами та автодорогами, залізничними або трамвайними лініями відстань між верхом трубопроводу та верхом дорожнього покриття або підшовою рейок – 1,5 м при безтраншейному методі;

– між трубопроводами та силовими кабелями напругою до 35 кВ - 0,5 м у трубах-футлярах, на ділянці перетину не менше ніж плюс 2 м у кожен бік (ПУЕ [13]);

- між трубопроводами та силовими кабелями напругою 110 кВ – 330 кВ - 1 м (згідно з ПУЕ [75]);

В одному футлярі або тунелі допускається прокладання декількох трубопроводів, а також спільне розміщення трубопроводів та інших інженерних комунікацій (електрокабелів, кабелів зв'язку тощо).

Матеріал та товщина стінок футляра визначаються виходячи із забезпечення несучої здатності та безпеки експлуатації трубопроводів. Використання розтрубних труб допускається за умови фіксації поздовжніх переміщень. Трубопровід у футлярі необхідно об'ємно фіксувати, крок фіксації встановлюється проектом [2].

Внутрішній діаметр футляра слід приймати в залежності від зовнішнього діаметра або розтрубу комунікації, що монтується у футлярі, технології

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

виконання робіт, довжини та траєкторії переходу, прийнятого типу ковзних опор.

Прокладання електричного кабелю та захисних елементів в ґрунті. Пучки одножильних кабелів повинні розміщуватися в землі на глибинах згідно з вимогами [13], вказаних в ПУЕ, тобто на глибинах в залежності від типу ґрунту, але не менше ніж на глибині 0,7 м (рис.1.2).

Траси кабельних ліній розміщуються уздовж автодоріг, або в межах смуги відводу, на землях несільськогосподарського призначення, на землях лісового фонду за узгодженням із власниками земель. У виборі траси необхідно дотримуватись вимог земельного законодавства України [3-12].

Внутрішній діаметр $D_{труб}$ труби стосовно зовнішнього діаметра $d_{каб}$ кабелю має бути (рис. 1.2):

- у разі прокладання в трубі одного кабелю $D_{труб} \geq 1,5 \cdot d_{каб}$;
- у разі прокладання в трубі трьох кабелів $D_{труб} = 3,0 \cdot d_{каб}$.

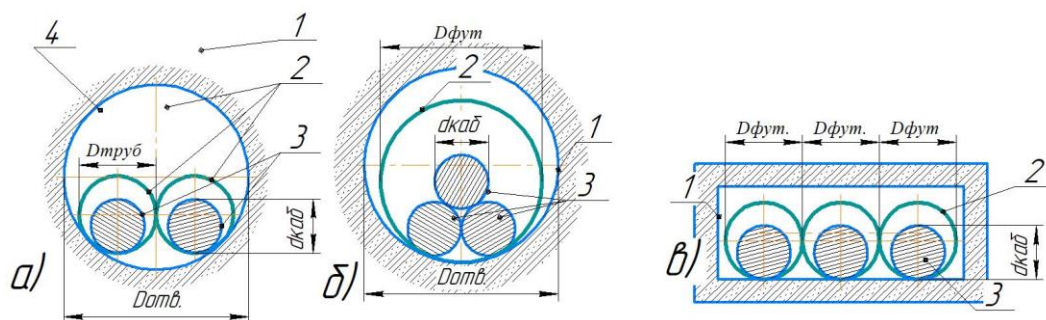


Рисунок 1.2 – Приклад прокладання кабелів у футлярах:

- а) – розташування одного кабелю в одному футлярі; б) – розташування трьох кабелів в одному футлярі; в) – розташування трьох окремих кабелів в окремих одинарних футлярах при напрузі до 35 кВ; 1 – ТПІ порожнина отримана безтраншейним способом; 2 – футляри; 3 – кабелі; 4 – резервний футляр

Глибина залягання, взаємне перетинання та розташування кабельних ліній регламентується в залежності від типу кабелю [14], об'єктів з якими перетинається лінія [3-12] та стану ґрунту в межах прокладання ліній і узгоджується з відповідними організаціями на етапі проєктування лінії.

						ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			5

1.2. Методи прокладання підземних комунікацій

Будівництво інженерних мереж включає вибір способу прокладання комунікацій [15], який виробляється з урахуванням глибини закладення трубопроводу, його діаметра і протяжності, термінів будівництва, особливостей і розмірів будівельного майданчика, наявності доріг, пори року, гідрогеологічних та кліматичних умов. На вибір способу будівництва також великий вплив мають матеріал труб (залізобетон, сталь, чавун, азбоцемент, пластмаси та ін.), так як від матеріалу труб залежать способи їх з'єднання і послідовність технологічних процесів. За способом прокладання трубопроводні комунікації поділяються на надземні і підземні.

Надземне або відкрите прокладання трубопроводів здійснюється по існуючих або спеціально виконаних будівельних конструкціях (опори, естакади, прохідні канали, колектори, галереї. Надземне прокладання застосовується для опалення, газопостачання.

Підземне прокладання трубопроводів виконується в каналах і без каналів. Канали бувають прохідні або тунелі, напівпрохідні і непрохідні. В каналах прокладають труби опалення, гарячого водопостачання, газопостачання.

Відкритий спосіб пов'язаний з кількома проблемами, які практично повністю виключають використання способу в умовах міст - великі фінансові витрати на виправлення зруйнованого рельєфу, перекриття доріг або магістралей, відновлення ландшафту та насаджень дерев. Використання даного способу при переході річок або дамб загалом неможливе. Слід відмітити, що при глибині прокладки комунікацій більше 1,5 м навіть прямі витрати стають дуже суттєвими і різко збільшуються при подальшому збільшенні глибини прокладки.

Більш перспективним способом в межах міста є закритий спосіб. Закритий спосіб або безтраншейне буріння - економічно вигідніше, ніж традиційні методи, що пояснюється економією коштів, витрачених на відновлення розкритих доріг, облаштування траншей. Такий метод також скорочує час, витрачений на роботу, кількість задіяного персоналу, а також значно підвищує рівень безпеки робіт.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

Закритими способами труби прокладають без розкриття ґрунту: проколювання, продавлювання, горизонтальне буріння, щитова прохідка. Застосовується, коли доступ до труб, після їх укладання, неможливий або трудний (в болоті, під водою, під існуючими будівлями і спорудами та ін.).

1.3. Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій

Існує п'ять основних способів безтраншейного прокладання трубопроводів [16-22] (табл. 1.1):

- спосіб ГНБ буріння;
- горизонтально-шнекове буріння;
- статичне проколювання;
- продавлювання статичне та динамічне (задавлювання труб-футлярів відкритим кінцем в ґрунт з подальшим видаленням його з середини);
- спосіб розкатного буріння.

Прокладка комунікацій відкритим або траншейним способом – найпростіший спосіб. Однак цей він завдає великої шкоди навколишньому середовищу і призводить до різних соціальних проблем. Траншейний спосіб прокладки вимагає проведення робіт зі стабілізації ґрунту, що в свою чергу призводить до збільшення вартості і трудомісткості процесу і зниження темпів будівництва. При проведенні робіт на центральних вулицях необхідне обмеження руху міського транспорту, порушується міська інфраструктура в тому місці, де проводяться роботи з прокладання інженерних комунікацій.

В даний час існує цілий ряд нових технологій, що дозволяють закритим способом без розтину доріг ремонтувати підземні інженерні мережі та комунікації.

Безтраншейні методи позбавлені багатьох недоліків відкритих способів будівництва. Вони дозволяють прокладати комунікації в обмежених міських умовах без руйнування дорожнього полотна, залізничних колій, ландшафтів садів, скверів, площ.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані способи безтраншейної прокладки трубопроводів

Спосіб	Трубопровід		Найкращі ґрунтові умови використання	Швидкість проходження, м/год	Необхідне зусилля вдавлення, кН	Обмеження до використання способу (не застосовується)
	діаметр, мм	довжина, м				
Горизонтально спрямоване буріння ГНБ	90-300 120-720 0,2-2,5м	до 150, до 350, до 3500	Супіски, суглинки та глинистих ґрунтах	1,5-19	25, 150, 250, 5000,	Ґрунтові води
Горизонтально-шнекове буріння	325-2500	40-100	В глинистих ґрунтах	0,25-5	До 250	За наявності каміння, ґрунтових вод
Статичний прокол з допомогою домкратів	50-500	80	Піщані та глинисті без твердих включень	3-6	148-2450	У скельних і каменистих ґрунтах
Статичний вібропрокол	500	60	Незв'язні піщані, супіщані та пливуні	3,5-8	5-7,5	У твердих і скальних ґрунтах
Динамічний прокол пневмопробійниками	300-400	40-50	М'які ґрунти до III групи	30-40 (без розширювачів)	0,75-25	У ґрунтах з підвищеним водонасиченням і з малим зчепленням
Статичне, динамічне продавлення труб-футлярів відкритим кінцем	400-2000	20-60	В ґрунтах I-III груп	0,2-1,5	4500	У твердих породах для продавлення труб максимального діаметру
Спосіб розкатного буріння	80-320	20-80	В ґрунтах I-III груп	0,2-4,5	45	У твердих породах Ґрунтові води

1.3.1. Горизонтально спрямоване буріння ГНБ

Однією з таких прогресивних технологій є горизонтально направлене буріння (ГНБ). Метод ГНБ на сьогоднішній день є найбільш розвинений серед інших методів будівництва комунікацій.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Принцип цієї технології полягає в наступному [17-18, 23-25] (рис. 1.3). Спочатку по трасі прокладається трубопроводу здійснюють пілотне буріння (див. рис. 1.3, а). Воно здійснюється за допомогою бурової головки зі скосом в передній частині і вбудованим випромінювачем. Бурова головка сполучена з гнучкою приводний штангою, що дозволяє управляти процесом утворення пілотної свердловини і обходити виявлені на етапі підготовки до буріння підземні перешкоди в будь-якому напрямку в межах природного вигину штанг. Бурова головка має отвори для подачі спеціального бурового розчину, який закачується в свердловину і утворює суспензію з подрібненою породою. Буровий розчин зменшує тертя на буровій головці і штанзі, оберігає свердловину від обвалів, охолоджує бурову головку, руйнує породу і очищає свердловину від її уламків, виносячи з свердловини. Контроль місця розташування бурової головки здійснюється за допомогою приймального пристрою локатора, який приймає і обробляє сигнали вбудованого в корпус бурової головки випромінювача. При передачі поступального руху штангам - траєкторія руху зміщується в бік скоса бурової головки. При поступальному і обертальному русі штанг здійснюється прямолінійний рух бурової головки. Таким чином, змінюючи режими руху, досягається відповідність свердловини проектної траєкторії.

Розширення свердловини (див. рис. 1.3, б) здійснюється при зворотному русі штанг з прикріпленим розширювачем, який збільшує діаметр пілотної свердловини до розміру, необхідного для протягування в неї трубопроводу (див. рис. 1.3, в).

Разом з очевидними достоїнствами направлене буріння має наступні обмеження:

- ґрунти містять валуни, булижники, гравій більше 30%, пливуні, що може викликати обвал ґрунту при розширенні піонерної свердловини;
- обмежено застосування технології при негативній температурі;
- не рентабельно на коротких дистанціях і малих діаметрах;

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

- великі габарити, як самої установки, так і допоміжних модулів, що не дозволяє розгорнути комплекс на обмежених міських вулицях.

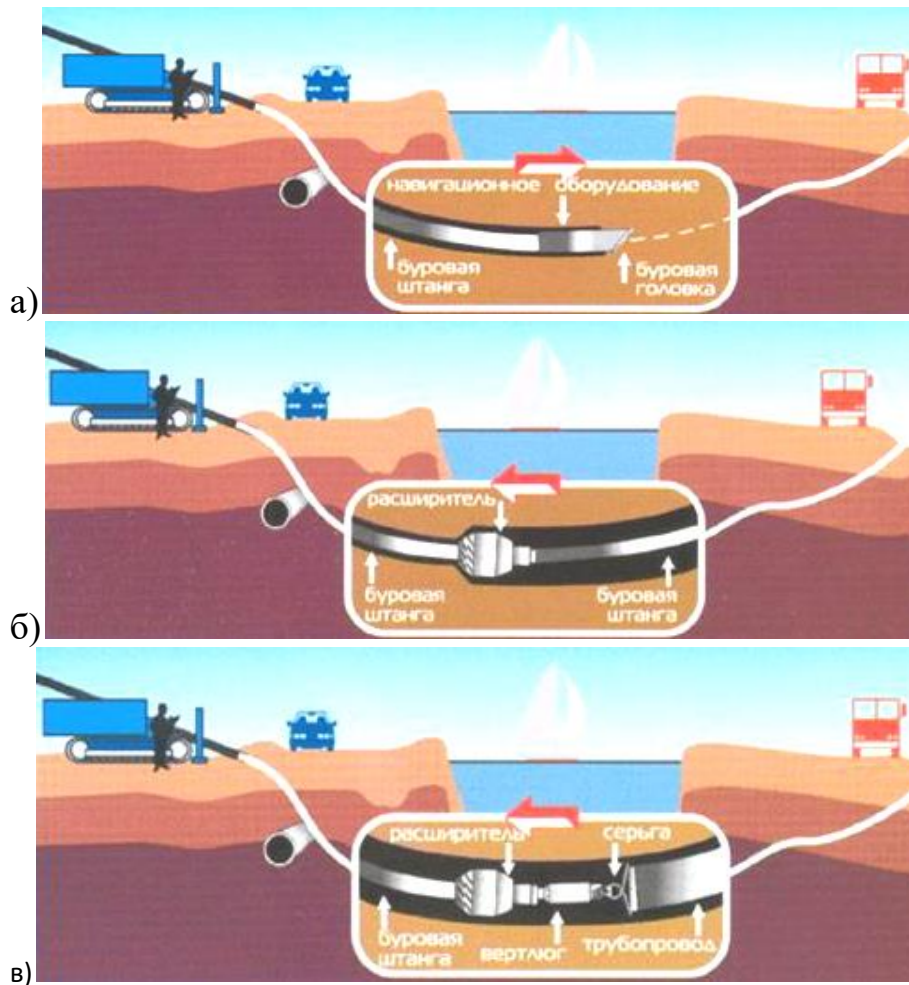


Рис. 1.3. Технологічна схема будівництва переходів трубопроводів під перепони методом горизонтально направлено буріння: а) – буріння пілотної свердловини; б) – розширення пілотної свердловини; в) – затягування трубопроводу

Основними виробниками установок ГНБ є американські та німецькі компанії: Vermeer (рис. 1.4), Universal HDD, Ditch Witch, Tracto-Technik (рис. 1.5) [23-25].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рис. 1.4. Установка ГНБ фирмы Vermeer



Рис.1.5. Установка GRUNDODRILL 7 Xplus TD фирмы Tracto-Technik

1.3.2. Горизонтальношнековое буріння та мікротонелювання

Установка Perforator GMBH, фірми SCHMIDT, KRANZ & CO GMBH (рис. 1.6) Призначена для розробки свердловин діаметром до 600 мм і довжиною до 100 метрів. Для надточної проходки Perforator GMBH оснащена: системою спостереження, виконавчим органом (керованої головкою) з форсунками для подачі бентоніту, подвійними пілотними штангами (труба в трубі) [26-27]. Установку відрізняє високий рівень технологічності, якості та досконалості системи наведення.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

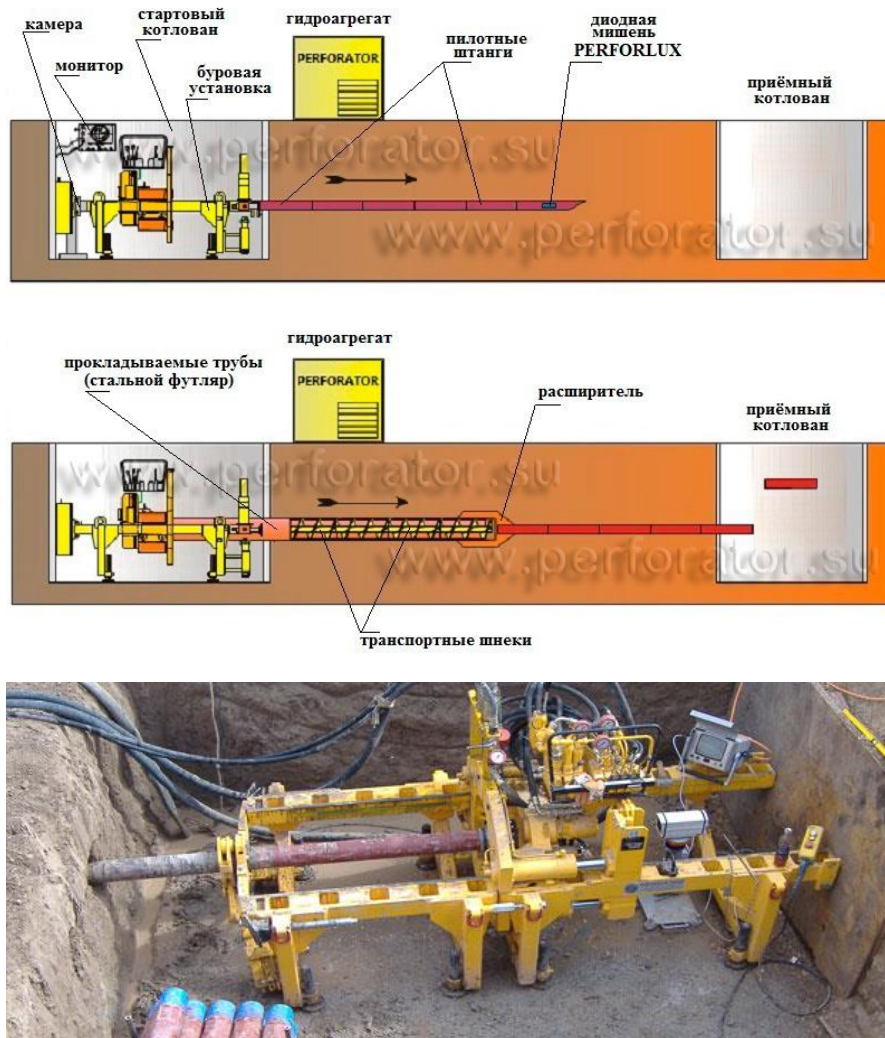


Рис. 1.6. Технология работы та установка Perforator GmbH, фірми SCHMIDT, KRANZ & CO GmbH

Машина Bohrtec BM 400 фірми Herrenknecht AG гарантує керовану проходку до 80 метрів і може працювати з стартового котловану глибиною 2 метри. Система управління проколом заснована на застосуванні відеокамери, світлодіодної мішені, теодоліта.

Мікротонелювання - це безтраншейний метод будівництва колекторів в умовах обмеженої міської забудови. Ця технологія не вимагає розкопки традиційних траншів по всій протяжності прокладання труб, що дозволяє мінімізувати вплив на екологію та звичну життєдіяльність міста в процесі будівництва (рис. 1.7, 1.8).

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Суть даного методу полягає в тому, що прокладання труб у ґрунті проводиться прохідницьким мікрощитом (рис. 1.7). Його поступальні рухи забезпечує потужна домкратна станція, яка передає зусилля, що штовхає, до щита через колону залізобетонних труб, яка нарощується в міру просування вперед [28-29].

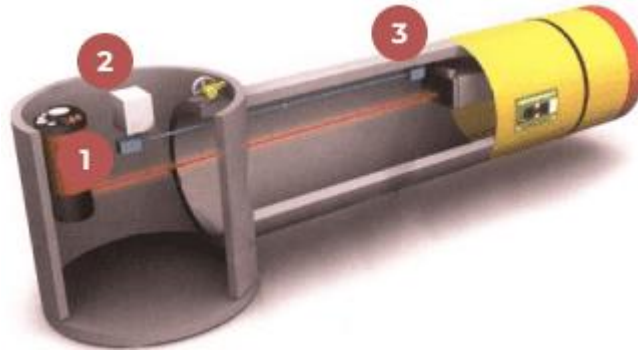


Рис. 1.7. Принцип мікротунелювання: 1 – опорний модуль; 2 – вимірювальне колесо; 3 – датчик висоти



Рис. 1.8. Обладнання для мікротунелювання фірми Herrenknecht AVN 2000

Переваги мікротунелювання. Відмінною рисою даного методу є висока точність проходки, відхилення від проектної осі не більше 30 мм. Це забезпечується спеціальним комп'ютерним комплексом управління з урахуванням системи лазерного наведення щита.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Мікротоннелювання комплексом AVN здійснюється в автоматичному режимі. Вся прохідка спостерігається безпосередньо оператором, його місцезнаходження базується у центрі управління мікротунелю.

Технологія мікротоннелювання допомагає прокласти трубопроводи в різних категоріях ґрунтів: від суглинків та водонасичених пісків до скельних порід. Також важливою перевагою методу мікротунелювання є висока швидкість прохідницьких робіт – до 15 метрів на добу.

1.3.3. Статичні та динамічні методи проколу ґрунту, вібропроколи

Прокладення комунікацій із застосуванням методу проколу утворення свердловини здійснюється за рахунок радіального витіснення і ущільнення ґрунту (без його розробки) трубою, що прокладається, пневмо-пробійником, гідро-пробійником або вібраційним робочим органом. Розрізняють прокол механічний (статичний) і вібропрокол. При проколі труби, що вдавлюється в ґрунт передається осьове навантаження від домкратного пристрою або ж вона протягається через готову свердловину, отриману за допомогою пневмопробійника або гідро-пробійника або вібраційним робочим органом [22] рис. 1.9.



Рис. 1.9. Пневмопробійники: а) – пневмопробійник реверсивний ПП-4605А; б) – машини для забивання труб СО-166.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Пневмопробійники (рис. 1.9.) і пневмомолоти успішно використовуються для забивання труб-футлярів закритим або відкритим способом та отримання отворів під перешкодами. Використання такої технології дозволяє виконувати роботи під автомагістралями і залізничними коліями без зупинки транспортних потоків, без порушення дорожнього покриття, при великих глибинах залягання трубопроводів під будівлями і спорудами.

Статичним проколюванням комунікації прокладають в ґрунтах I - III категорії сталеві трубопроводи (рис. 1.10.) діаметром 529-1720 мм, а також збірні залізобетонні колектори і тунелі різного призначення на довжину до 60-80 м, або при допомозі набору конусних розширювачів, що протягуються з прийомного до стартового приямка після отримання пілотного отвору. При проколюванні трубопровід (футляр) вдавлюють в масив ґрунту відкритим (закритим) кінцем, забезпеченим кільцевим ножом (наконечником), а ґрунт ущільнюється в стінки, або поступає всередину труби де його розробляють і видаляють через трубопровід, що прокладається, ручним або механізованим способом.

В якості продавлюючих пристроїв застосовують установки насосних домкратів, що включають парне число однотипних домкратів вантажопідйомністю 170-500 т кожен з ходом штоків 1150-1600 мм. Зусилля від домкратів передаються трубі, що прокладається, через задній її торець за допомогою сталеві натискної рами (траверси) або сталевого натискного кільця, що рівномірно розподіляють тиск по периметру торця трубопроводу.

Отримання отворів при допомозі набору конусних розширювачів (рис. 1.11) та домкратної установки схожа до процесу проколювання трубофутляром. Основною відмінністю є те, що процес отримання потрібного отвору та затягування туди комунікацій виконується за кілька прийомів [30, 31].

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



Рис. 1.10. Метод статичного проколювання ґрунту для прокладення: 1 – насосна станція; 2 – трубопровід; 3 – робочий котлован; 4 – водовідвідний потік; 5 – трубопровід (футляр); 6 – наконечник (ніж); 7 – приймальний котлован; 8 – прямок для зварювання труб; 9 – рама напрямної; 10 – натискний патрубков; 11 – натискна заглушка; 12 – гідродомкрат; 13 – башмак; 14 – стінка прямока закріплена; 15, 18 – канати; 16 – ролики

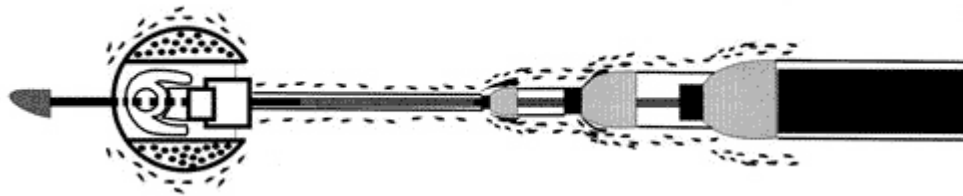


Рис. 1.11. Розширення пілотного твору зворотною тягою з одночасним протягуванням трубопроводу

1.3.4. Спосіб розкатного буріння

Обладнання для розкочування свердловини в ґрунтах I–IV категорії міцності наведено на рис. 1.12 [32]. Таким методом прокладають комунікації діаметром до 370 мм на відстань до 30 м. Середня швидкість проходки свердловини у різних ґрунтах 10–20 м/год. Широкого використання при прокладанні підземних комунікацій обладнання не отримало.

Розкочування свердловин з метою ущільнення стінок ґрунту, прилеглих до свердловини, здійснюється із застосуванням спеціальних розкочувачів, які є суцільнометалевою звареною або литою конструкцією, що складається зі зміщених і розгорнутих на певний кут відносно один одного циліндрів і усічених корпусів. Вони можуть виконуватися також з рухомих елементів, посаджених на

						ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			16

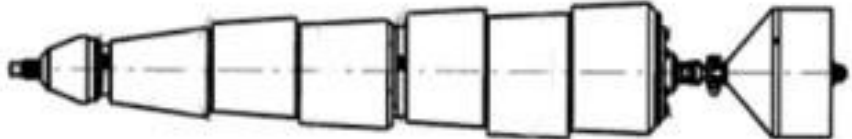
загальному валу, осі обертання яких зміщені щодо поздовжньої осі, що дозволяє отримати спіралеподібну поверхню (рис. 1.12)



а)



б)



в)



г)

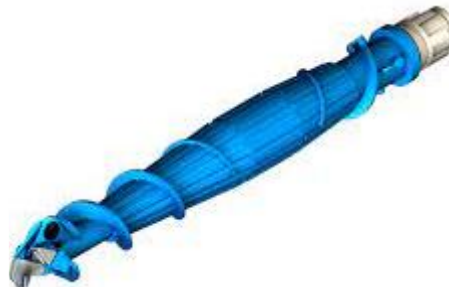


Рис. 1.12. Розкочувальник свердловин: а) – розкат гвинтовий; б) – розкат труборуйнуючий; в) – розкатциліндричний ексцентриковий; г) – розкат для буронабивних паль.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КЛИНОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОВИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

2.1. Обґрунтування форми та конструкції РО

Процес проколу полягає у вдавлюванні в ґрунт металевого РО конічної форми, який взаємодіє з ґрунтом. Під час заглиблення відбувається ущільнення ґрунту в стінки порожнини та його стиснення, що обумовлюється зміною пористості [32-34], в масиві під дією зовнішніх сил, навколо РО, що переміщується, формуючи зону переущільненого ґрунту, величина та радіус якої залежить від властивостей та розмірів наконечника [35-37]. Зміна пористості в зоні заглиблення наконечника можлива тільки за зміни структури ґрунту, та їх переміщенні в радіальному напрямку від осі свердловини. Деформації структури масиву визначаються крайнім пружним станом, при якому порушується рівновага, що існувала в природньому стані. Деякі автори пропонують характеризувати ущільнення ґрунтів, що супроводжується значними змінами їх пористості, величиною тиску, більшого за структурну міцність ґрунту, коли руйнуються зв'язки частинок. Величина структурної міцності ґрунтів визначається за компресійними кривими, при випробуванні малими навантаженнями.

На даний час встановлення структурної міцності ґрунтів виконується в лабораторних умовах з використанням спеціальних узагальнених методик з наближенням. Можливо визначати розміри зони деформації масиву, як 3–6 діаметрів створюваної порожнини у ґрунті (ТПП). Всі ці дослідження стосуються класичної конічно-циліндричної форми ТПП.

Практичне застосування статичного проколу для отримання ТПП частіше за все використовується при спорудженні групових лінійно-протяжних об'єктів, у вигляді кабельних ліній мереж електропостачання або зв'язку. Відповідно до вимог стандартів EN, стандартів організацій України (СОУ) та Державних

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

будівельних норм ДБН одночасно прокладаються від двох до двадцяти окремих футлярів, в яких розміщують ЛПО.

Відповідно до проведених Главацьким К. та Посмітюха О. досліджень [38] та практичного застосування установок статичного проколювання ТПГ, при спорудженні кабельних мереж в одній ТПГ прокладають 2, 3, рідше 4 футляри, що своєю чергою (таблиця. 2.1.) залишає великий відсоток пустот.

Таблиця 2.1

Варіанти розташування комунікацій в ТПГ та форма РО для цього

№ п/п	Схеми розташування футлярів та ТПГ	Площа отриманого ТПГ, см ² , блакитний колір	Площа необхідного ТПГ, см ² , круг по дотичній	Площа, що пустує, см ² , жовтий колір
1		$S_{\Sigma ТПГ} = 5,98 \text{ см}^2$	$S_{nom} = 5,16 \text{ см}^2$	$S_n = 0 \text{ см}^2$
2		$S_{\Sigma ТПГ} = 24,03 \text{ см}^2$	$S_{nom} = 16,62 \text{ см}^2$	$S_n = 8,31 \text{ см}^2$
3		$S_{\Sigma ТПГ} = 12,33 \text{ см}^2$ 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		$S_{\Sigma ТПГ} = 13,53 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 45,7\%$	$S_{nom} = 10,65 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 40,2\%$	$S_n = 1,54 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 74,3\%$
5		$S_{\Sigma ТПГ} = 27,72 \text{ см}^2$	$S_{nom} = 19,29 \text{ см}^2$	$S_n = 6,35 \text{ см}^2$
6		$S_{\Sigma ТПГ} = 18,68 \text{ см}^2$ 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 $\Delta = 65,2\%$
7		$S_{\Sigma ТПГ} = 21,68 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 28,6\%$	$S_{nom} = 16,54 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 18,6\%$	$S_n = 3,27 \text{ см}^2$ Зменшення на $\Delta = 55,2\%$

Проаналізувавши дані в таблиці виявлено, що найбільший відсоток порожнечі та площа даремно ущільненого ґрунту, є при прокладанні в традиційну круглу форму ТПГ 2 футлярів, відсоток порожнечі зменшується в міру збільшення футлярів понад 4. Практичне використання клинових РО для розширення ТПГ до необхідних розмірів показало доцільність використання для 2-3 футлярів.

Виходячи з вищесказаного визначимо опір переміщення РО клиново-призматичної форми з прямими боками, ґрунтовому середовищі при статичному проколі порожнин для одночасного прокладання багатьох ЛПО об'єктів при будівництві нових комунікацій (табл. 2.1).

2.2. Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО

Ґрунт – це система, що складається з мінеральних частин, простір між якими певною мірою заповнено водою та повітрям [32-34], їх властивості залежать від співвідношення твердої фази часток та діляться на: піщані, пилові та глинисті, суттєвий вплив на властивості ґрунтів має глиниста фракція.

При проколі відбувається ущільнення ґрунту під навантаженням, яке значно перевищує структурну міцність ґрунту, при дослідженні процесу приймається припущення, що ґрунт ізотропний та однорідний. При формуванні ТПГ напруження в ґрунті змінюється від нуля до максимального значення, тому стисливість необхідно характеризувати компресійними кривими, [1, 32].

Зменшення коефіцієнта пористості ϵ або здатність змінювати свою будову під дією зовнішніх - це стисливість ґрунту. Основним показником (на думку С. В. Кравець та В. В. Кованько) стисливості ґрунтів є: коефіцієнт компресії c_k , модулі загальної E та об'ємної E_V деформацій, а також компресійний модуль E_{cp} . Коефіцієнт компресії (c_k) – це тангенс кута нахилу α ($tg\alpha$) прямої до горизонтальної осі, яка проведена через дві точки компресійної кривої, його (c_k) визначаємо через вологість ґрунту в природному стані ω або границю текучості ґрунту ω_T у відсотках [1, 32-34].

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

$$c_k = 0,1\omega, \text{ або } c_k = 0,07\dots 0,09(\omega_T - 10). \quad (2.1)$$

Модуль компресійний (E_{zp}) визначається в лабораторних умовах, за результатами компресійних випробувань зразків ґрунту, та обчислюють за формулою [1]:

$$E_{zp} = \frac{(1 + \omega)\rho_{mв}}{c_k \cdot \rho_{np}}, \quad (2.2)$$

де $\rho_{mв}$ – щільність ґрунту при умові, що в ньому відсутні пори (щільність твердої фази);

ρ_{np} – щільність в природному стані.

Модуль загальної деформації (E) визначається по кривій навантаження. Між модулем загальної деформації E та компресійним модулем є залежність [1].

$$E = E_{zp} \cdot \beta_{\mu}, \quad (2.3)$$

де β_{μ} – коефіцієнт, відсутності поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі.

$$\beta_{\mu} = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}, \quad (2.4)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона.

Модуль об'ємної деформації (E_V) характеризує усестороннє ізотропне у всіх напрямках (однакове та об'ємне) стиснення однорідного зразка ґрунту. Між модулем об'ємної деформації та компресійним модулем існує відоме співвідношення [1, 32].

$$E_V = \frac{1 + 2\xi}{3} E_{zp}, \quad (2.5)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску визначається за формулою Г. І. Покровського [1].

$$\xi = 1 - 0,74tg\varphi_0 - \frac{1,52c}{q_{кр}}, \quad (2.6)$$

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

$q_{кр}$ – критичний тиск ґрунту за несучою спроможністю в основі штамп (робочого органу), який руйнує ґрунт шляхом зсуву та відділення від масиву при прокладання ТПГ.

$$q_{кр} = \left(\gamma_{зр} h_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (2.7)$$

де $\gamma_{зр}$ – питома сила тяжіння ґрунту;

h_3 – глибина прокладання ТПГ.

Коефіцієнти Пуассона та бічного тиску взаємопов'язані залежністю

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi}. \quad (2.8)$$

Вибір значень фізико-механічних характеристик ґрунтів, що впливають на сили, є методика [1, 32]:

перше - визначається природна вологість ґрунту,

друге - число пластичності,

третє - межа текучості та розкочування,

четверте - показник консистенції.

Тип ґрунту і його стан визначають за числом пластичності і показником консистенції. Якщо вони відомі, то вибирають для кожного типу ґрунту із таблиці числових значень ДБН коефіцієнт зчеплення c , кут внутрішнього тертя φ_0 та щільність ґрунту $\gamma_{зр}$ [32-35].

Методика, що розроблена в НУВГП (Національний університет водного господарства та природокористування) [1, 40], дозволяє визначити необхідні показники, якщо відома тільки природна вологість ґрунту. Тоді тип ґрунту наближено можна визначити за найбільш ймовірною природною вологістю ґрунту, яка знаходиться в межах: для глин – $\omega = 25 \dots 35$ %; для суглинків – $\omega = 15 \dots 25$ %; для супісків – $\omega = 10 \dots 15$ %; для пісків – $\omega = 7 \dots 10$ % [44, 50, 60].

					ДПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Границі текучості і розкочування, показник консистенції та число пластичності визначаємо за кореляційними залежностями А. М. Зеленіна [41, 60]:

$$\omega_n = \omega_T - \omega_p, \quad (2.9)$$

$$\omega_n = \omega - 8, \quad (2.10)$$

$$\omega_T = 14,8 + 1,2\omega_n = 1,2\omega + 5,2, \quad (2.11)$$

$$B'_k = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_T - \omega_p} = \frac{0,8\omega - 13,2}{\omega - 8}. \quad (2.12)$$

За числом пластичності: глина – $\omega_n > 17$; суглинок – $\omega_n = 7...17$; пісок, супісок – $\omega_n = 1...7$.

Число ударів щільноміра ДорНДІ $C_{y\partial}$ і вологість ω ґрунту має залежність:

$$C_{y\partial} = ae^{-b\omega}, \quad (2.13)$$

де a і b – емпіричні коефіцієнти, які залежать від типу ґрунту: для глини $a = 118,6$ і $b = 0,11$; для суглинку – $a = 50,2$ і $b = 0,12$; для супіску – $a = 28,6$ і $b = 0,13$.

Вихідні дані для найбільш ймовірних типів ґрунтів, що визначені за вище наведеною методикою, приведені в табл. 2.2 [40].

Під час заглиблення клиново-призматичного наконечника в ґрунт відбувається ущільнення в стінки ТПГ та його стиснення, яке обумовлюється зміною пористості, а саме загальним об'ємом пор в ґрунті під дією напірної сили на наконечник. Зміна пористості в зоні заглиблення клиново-призматичного наконечника можлива тільки при зміні структури ґрунту, тобто при структурних деформаціях твердих частинок, їх переміщенні в радіальних напрямках від осі руху наконечника. Структурні деформації визначаються крайнім пружним станом, при якому порушується рівновага, що існує в структурі ґрунту.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Характеристика найбільш ймовірних типів ґрунтів

Тип ґрунту/ параметр	Твердий супісок	Напівтвердий суглинок	Тугоплатична глина	Ґрунт в лабораторії
Природна вологість, ω , %	10...14	17...20	25...30	6...12
Щільність твердої фази ґрунту, $\rho_{тв}$, т/м ³	2,7	2,7	2,73	2,66
Щільність ґрунту в природному стані, $\rho_{пр}$, т/м ³	2,05	2,1	2	1,79
Коефіцієнт зчеплення, c , МПа	0,02	0,04	0,04	0
Кут внутрішнього тертя, φ_0 , град.	28	23	18	39
Кут зовнішнього тертя φ , град	25	21	22	42
Коефіцієнт тертя ґрунту по РО (сталі) f	0,532	0,424	0,325	0,582
Питома вага у природному стані ґрунту $\gamma_{зр}$, кН/м ³	20,5	21,0	20,5	17,9
Несуча спроможність ґрунту, $q_{кр}$, МПа	0,37	0,55	0,48	-
Коефіцієнт Пуассона, μ	0,344	0,365	0,388	0,3
Коефіцієнт компресії, c_k , МПа ⁻¹	1,08	1,73	2,81	0,082
Компресійний модуль, $E_{зр}$, МПа	1,39	0,892	0,631	14,519
Модуль загальної деформації, E , МПа	1,0	0,508	0,247	-
Модуль об'ємної деформації, E_V , МПа	0,95	0,64	0,477	-

2.3. Теоретичне визначення сил проколювання ґрунту плоским робочим органом

Лобовий та сумарний опір клинового наконечника, визначаємо виходячи з форми наконечника (рис. 2.1, 2.2 та 2.4), що складається з двох півконусів, які закінчуються півциліндрами та клина, в середній частині РО, що закінчується плоскою частиною та обрамлений з боків півциліндрами. Тоді для спрощення

процесу визначення сили вдавлювання РО в ґрунт розділимо все на елементарні фігури: клин та конус.

Для визначення сили деформування ґрунту необхідно знати закон зміни нормального тиску $q_x^{кл}$ на наконечник клиново-призматичної форми [1, 41-44] у залежності від деформації x та закон зміни його нормального тиску $q_x^{кон}$ на конічний наконечник (рис. 2.1.) від x . Визначаємо його на основі компресійних кривих для ґрунтів, які можна наближено представити у вигляді лінійних залежностей [45-46].

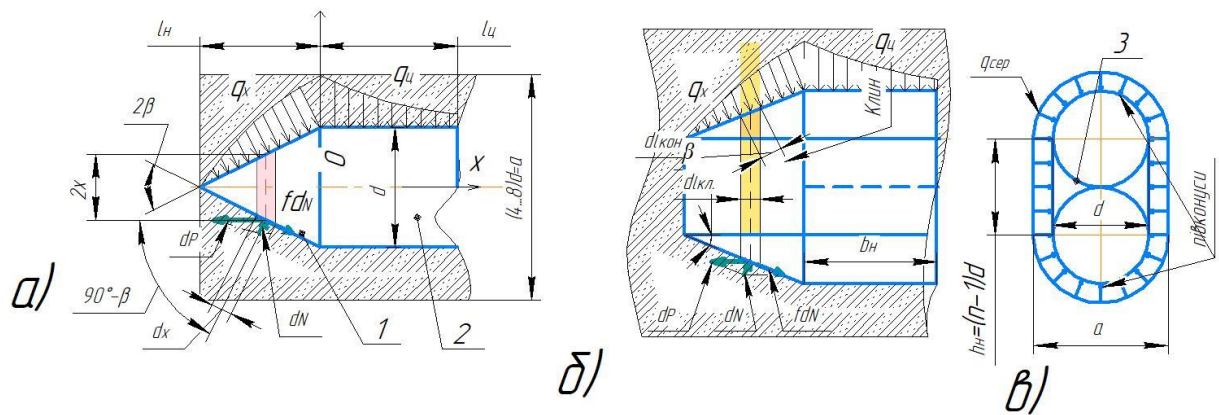


Рис. 2.1. Взаємодія клиново-призматичного наконечника з ґрунтом: а) – наконечник РО клиново-призматичний - вигляд збоку; б) – наконечник РО - вигляд зверху; в) – розташування футлярів в робочому органі при протягуванні, г) – 3D-модель РО: 1 – проколююча – клинова частина з півконусами; 2 – частина, що калібрує; 3 – футляри

$$e_x = e_0 - c_k q_x, \quad (2.14)$$

де e_x – змінний коефіцієнт пористості ґрунту в залежності від деформації;

e_0 – початковий коефіцієнт пористості ґрунту у природному стані;

c_k – коефіцієнт компресії ґрунту (2.1), МПа⁻¹) [1, 40].

Коефіцієнти пористості e_x і e_0 можна виразити через щільність ґрунту [32-35].

$$\rho_x^{кл} = \frac{\rho_{np}}{1 - \frac{2x}{d}} \quad (2.18)$$

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

n – кількість ЛПО, які одночасно прокладаються;

$\rho_x^{кл}$ – змінна щільність ґрунту по висоті клинової поверхні, пропорційна зміні площі поперечного перетину робочого органу;

x – деформація ґрунту лобовою поверхнею наконечника.

Тоді закон зміни нормального тиску ґрунту на лобову поверхню клиново-призматичного наконечника [94] урахуванням (2.2) запишеться у вигляді:

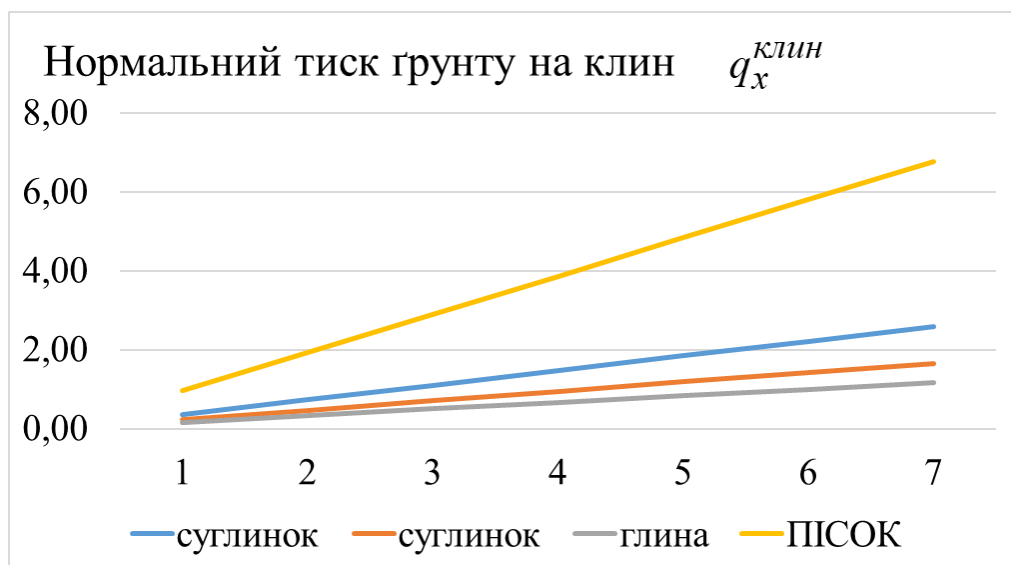
$$q_x^{кл} = E_{zp} \frac{2x}{d}, \quad (2.19)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті конуса (рис. 2.3.) на основі закону рівності мас [94, 44], при цьому d – діаметр півконуса наконечника (рис. 2.1):

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_{np} = \frac{\pi}{4} (d^2 - 4x^2) \rho_x^{кон}, \quad (2.20)$$

звідки

$$\rho_x^{кон} = \frac{\rho_{np}}{1 - (2x/d)^2}. \quad (2.21)$$



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рис. 2.3. Залежність лобового опору клиново-призматичного наконечника від діаметра комунікацій, які прокладаються: 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок, 4 – пісок.

Знайдемо значення x із залежності (2.20), при якому ґрунт максимально ущільнюється до $\rho_{тв}$.

$$x^{кон} = \frac{d}{2} \sqrt{1 - \frac{\rho_{np}}{\rho_{тв}}}. \quad (2.22)$$

Надалі ґрунт буде витіснятися за межі ТПГ. Для піщаних ґрунтів, що є сипучим середовищем зона максимального ущільнення розповсюджується навколо осі ТПГ ($\rho_{зр} = \rho_{тв}$) на відстань $d_{\rho_{тв}}^{кон}$. Визначимо цю відстань для клиново-призматичного наконечника [30, 44]

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_{np} = \frac{\pi}{4} \left(\left(d_{\rho_{тв}}^{кон} \right)^2 - d^2 \right) \rho_{тв}. \quad (2.23)$$

Звідки

$$d_{\rho_{тв}}^{кон} = d \sqrt{1 + \frac{\rho_{np}}{\rho_{тв}}}. \quad (2.24)$$

Відповідно до залежності (2.16 та 2.20) закон зміни нормального тиску на бічну поверхню конусної частини наконечника запишеться у вигляді

$$q_x^{кон} = E_{зр} \left(\frac{2x}{d} \right)^2. \quad (2.25)$$

Лобовий опір занурення клиново-призматичного наконечника шириною $h_{кл} = (n-1)d$ та висотою d (розмір робочого органу), рівний опору від клину та двох півконусів, розмір двох крайніх півконусів еквівалентний опору одного конуса, а опір конусних РО відмінно описано в роботі В.М. Супонєва [44].

$$P_{кл.}^{лоб.} = P_{кл.} + P_{кон.}. \quad (2.26)$$

Визначимо опір клину:

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$dP_{кл.} = 2q_x^{кл} \partial F \sin \beta (1 + f \cdot ctg \beta), \quad (2.27)$$

де ∂F – елементарна площа лобової поверхні клину ($\partial F = \partial h \cdot \frac{\partial x}{\sin \beta}$);

2β – кут при вершині клинового наконечника;

f – коефіцієнт тертя ґрунту по РО.

Тоді

$$\partial P_{кл.} = E_{зр} \frac{4x}{d} \partial h \frac{\partial x}{\sin \beta} \sin \beta (1 + fctg \beta), \quad (2.28)$$

$$P_{кл.} = E_{зр} \frac{4h_{кл}}{d} (1 + f \cdot ctg \beta) \int_0^{d/2} x \partial x = \frac{d \cdot h_{кл}}{2} E_{зр} (1 + f \cdot ctg \beta). \quad (2.29)$$

Підставивши параметри РО, що можна виміряти (d , n , β), отримаємо:

$$P_{кл.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{зр} (1 + fctg \beta). \quad (2.30)$$

Очевидно, що сумарний опір проколюванню складається з опорів клинової і конічної частин клиново-призматичного наконечника. Згідно з роботами [20, 22] теоретично визначений опір заглибленню конічного наконечника в ґрунт дорівнює:

$$P_{пр.кл.}^{лоб.} = P_{кл.} + P_{пр.кон.}, \quad (2.31)$$

Опір проколу конусних частин, за роботами проф. Кравця С. В. та Супонєва В. М. для конічного РО [44, 47, 94], клиново-призматичного наконечника дорівнює [108, 109],

$$P_{пр.кон.} = \frac{\pi d^2}{8} E_{зр} (1 + f \cdot ctg \beta), \quad (2.32)$$

Остаточню підставивши (2.32) та (2.30) в (2.31), отримаємо опір для клиново-призматичного наконечника РО для n – футлярів, що прокладаються одночасно

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

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

$$= d^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) \left(\frac{\pi + 4(n-1)}{8} \right). \quad (2.33)$$

Графік залежності лобового опору клиново-призматичного наконечника від розміру футляру приведений на рис. 2.3.

Для побудови графіка залежності (рис. 2.3.) зусилля заглиблення клиново-призматичного наконечника вихідними даними для розрахунку були:

- $2\beta = 50^\circ$ – подвійний кут при вершині клину та півконусу;
- для твердого супіску – $E_{zp} = 1,39$ МПа, $f = 0,532$;
- для напівтвердого суглинку – $E_{zp} = 0,892$ МПа, $f = 0,424$;
- для тугопластичної глини – $E_{zp} = 0,631$ МПа, $f = 0,325$.

По всьому периметру корпусу клиново-призматичного наконечника РО діє бічний тиск ґрунту, який створює додатковий опір від сил тертя ґрунту по бокових стінках і заокруглених краях наконечника. Визначимо цей опір.

Середній тиск ґрунту на бокові стінки і краї клиново-призматичного наконечника, для одночасного прокладання об'єктів з урахуванням (2.6), дорівнює [32-35, 40].

$$q_{сер} = 2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h. \quad (2.34)$$

де a_q – коефіцієнт пропорційності ($a_q = \gamma_{zp} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)$ МПа/м) [78];

h – глибина розміщення наконечника (глибина укладання комунікацій).

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

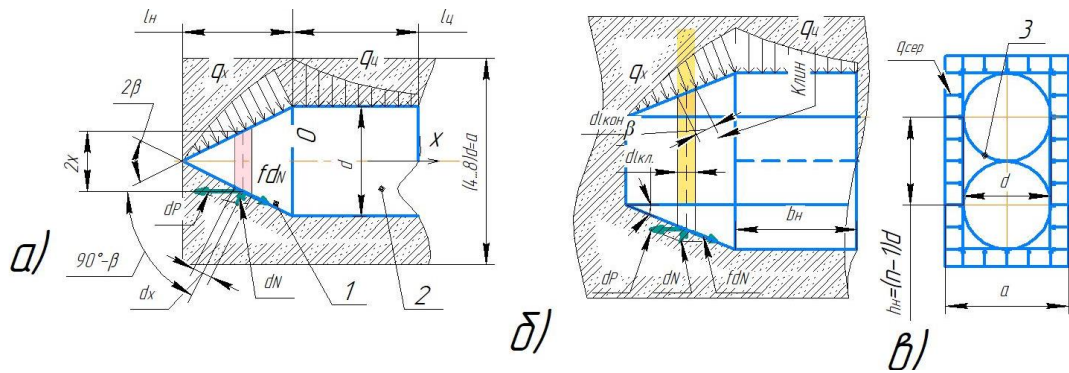


Рис. 2.4. Взаємодія клинового(плоского) наконечника з ґрунтом:
 а) – наконечник клиновий - вигляд збоку; б) – наконечник - вигляд зверху;
 в) – розташування футлярів в робочому органі при протягуванні,
 1 – проколююча – клинова частина; 2 – частина, що калібрує; 3 – футляри
 Довжин периметра корпусу наконечника дорівнює

$$L_{пер} = 2nd + 2d = 2d(\pi + 1). \quad (2.35)$$

Опір від сил тертя визначається через площу бокової поверхні наконечника та середній тиск дорівнює:

$$F_{mp.} = [2d(n+1)]b_H f \left[2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.36)$$

де b_H – довжина бокової поверхні наконечника.

Тоді сумарний опір від конусної та клинової частини наконечника буде мати вигляд:

$$P_{\Sigma кл.} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{2p} (1 + fctg\beta) + [2d(n+1)]b_H f \left[2c \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.37)$$

Визначення лобового та сумарного опору наконечника традиційної конічної форми. Для виконання порівняння робочих зусиль визначимо зусилля приведеного лобового опору РО традиційної конічної форми, роботи

Для випадку конічного наконечника для n – футлярів, що прокладаються одночасно, формула (2.31) прийме вигляд (Кравць С. В., Кованько В. В. та Супонев В. М. [40, 45-46]).

$$P_{пр.кон.}^{лоб.} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{зр} (1 + f \cdot c \cdot tg\beta). \quad (2.38)$$

де D – діаметр умовного кола яке описане навколо n – футлярів [40, 45-46] рис. 2.4.

Розглянемо трикутники $\triangle AOB$, $\triangle COD$ та $\triangle KOD$ (рис. 2.5). Кут $\angle KOD = \frac{\pi}{n}$, звідки

$$\sin \frac{\pi}{n} = \frac{KD}{OD}, \quad OD = \frac{KD}{\sin(\frac{\pi}{n})} = \frac{d}{2 \sin(\frac{\pi}{n})},$$

$$OB = OD + DB = \frac{d}{2 \sin(\frac{\pi}{n})} + \frac{d}{2} = \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d = D.$$

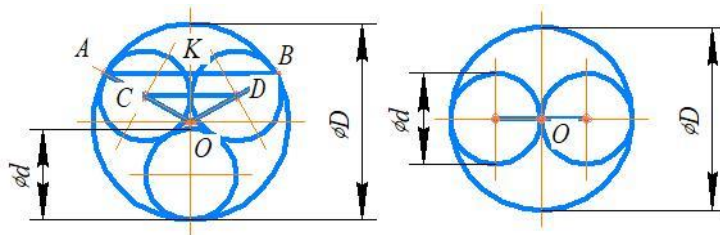


Рис. 2.5. Визначення діаметра круглого ТПГ при груповому прокладанні n -футлярів

Тоді для будь-якої кількості футлярів:

$$D = \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d. \quad (2.39)$$

Для побудови графіка залежності (рис. 2.6.) зусилля заглиблення конічної частини наконечника у тугопластичну глину, напівтвердий суглинок і твердий супісок від діаметра проколу вихідні дані аналогічні (даних див. рис. 2.3).

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

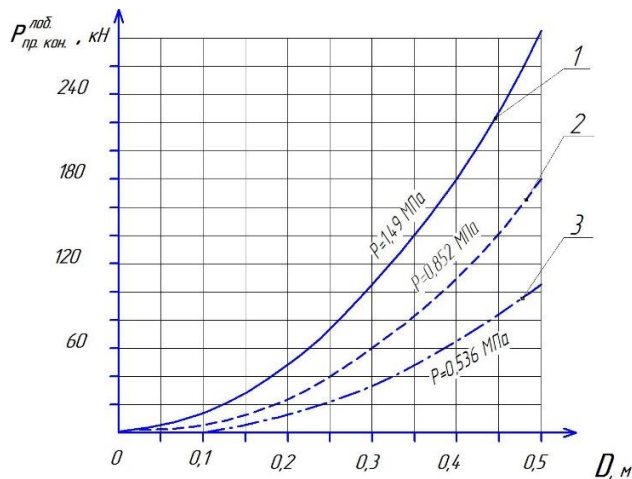


Рис. 2.6 – Залежність зусилля заглиблення РО від діаметра футляра: а) конусного наконечника; б) – клинового наконечника; г) – плоского наконечника: 1 – твердий супісок; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – тугопластична глина

Визначимо силу тертя на поверхні наконечника: конусній та клиновій поверхні РО, для цього розглянемо процес проколювання в цілком. На першому етапі відбувається заглиблення конічної або клинової частини робочого наконечника до його основи, що переходить в циліндричну або плоску частини, ґрунт перестає стискатись в радіальному напрямку, тоді при ($t=0$, $y=0$) в напруженому масиві встановлюється статична рівновага – це коли спостерігається не збільшення, а зменшення тиску з часом в результаті початку релаксації ґрунту. Такий стан описується в роботах [1, 40]

$$q_{\text{ц}} = q_{\text{ц}}^{\text{max}} \cdot e^{-\frac{E_v t_{\text{ц}}}{k_g}}, \quad (2.40)$$

де $q_{\text{ц}}^{\text{max}}$ – максимальний питомий тиск ґрунту на формуючу - циліндричну частину РО наконечника;

k_g – коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту;

$t_{\text{ц}}$ – час контакту з ґрунтом циліндричної частини РО наконечника ($t_{\text{ц}} = \frac{y}{v}$);

v – швидкість пересування наконечника.

$$q_{\text{ц}}^{\text{max}} = \frac{D_p}{D} \sigma_1, \quad (2.41)$$

де D_p – діаметр пружно-пластичної зони (зони руйнування), [31];

σ_1 – напруження на межі пружної і пластичної зон визначили Кравець С. В. і Кованько В. В. [48, 61]

						Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \left| \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \right|, \quad (2.42)$$

$$\text{де } \left\{ \begin{array}{l} A = \sin \varphi_0 (3 - \sin \varphi_0) \\ B = 3c \cdot \cos \varphi_0 - 2,5c \cdot \sin 2\varphi_0 + \gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) \\ C = [\gamma_{zp} h (1 + \sin \varphi_0) + 4c \cdot \cos \varphi_0] c \cdot \cos \varphi_0 \end{array} \right\};$$

В початковий момент часу $t=0$ в основі конуса наконечника діє максимальний контактний тиск. Якщо $t>0$, то при $E_V \gg k_g$, тиск на циліндричній частині наконечника на довжині 10...20 см зменшується, за даними робіт Д. Н. Єшуткіна [31] до стабільної величини 0,016 ... 0,035 МПа, для розмірів циліндричної частини від 0,1 до 0,35 м, та зі збільшенням розміру залишковий тиск зростає. Тому якщо $l_y \leq 0,2$ м, $q_{ц}^{сер} = \frac{D_p}{2D} \sigma_1$ – для лабораторних ґрунтів, а якщо $l_y > 0,2$ м, то тиск у залежності від діаметра знаходиться у межах 0,016...0,035 МПа.

Результуюча сила тертя на циліндричній частині наконечника дорівнює

$$F_{тр.кон.} = 0,1\pi\lambda f D \sigma_1 + \pi f D (l_y - 0,2) q_3, \quad (2.43)$$

$$\text{де } \lambda = \frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \text{ – відношення діаметра зони пружно-}$$

пластичних деформацій до діаметра конусного наконечника РО [66].

Тоді сумарний опір заглибленню конічно-циліндричного наконечника дорівнює силі лобового опору та силі тертя по поверхні РО

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$P_{\Sigma\text{кон.}} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + fctg\beta) +$$

$$+ 0,1\pi \left[\frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{tg\varphi_0} \right) tg^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \right] fD\sigma_1 + \pi fD(l_{\text{ц}} - 0,2)q_3. \quad (2.44)$$

Згідно з графіком на рис. 2.8 сумарний опір проколу ґрунту наконечником залежить від діаметра труб які вставляються у калібруючу частину, ширина прямокутника якого лежить у межах оптимального діаметра конусного проколу. Суттєво зусилля до 2-х разів також відрізняється від типу ґрунту.

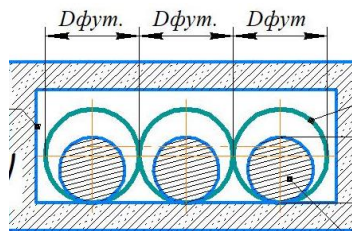


Рис. 2.7. Клиновий робочий орган з прямими боковинами

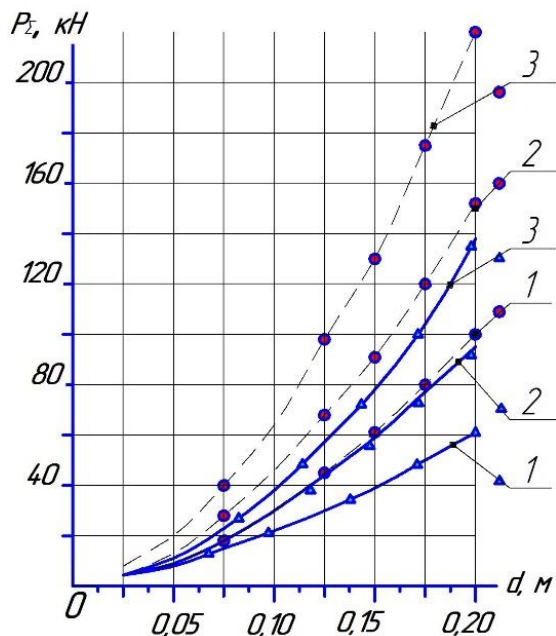


Рис. 2.8. Залежність загального опору клинового та конічного наконечників від діаметра комунікацій, що прокладаються ($n=2$): 1 – тугопластична глина; 2 – напівтвердий суглинок; 3 – твердий супісок.

▽-▽ – для клиново-призматичних наконечників робочого органу,

○-○ – для конічно-циліндричних наконечників робочого органу

Очевидно, що сумарний опір проколюванню складається з опорів клинової і конічної частин клиново-призматичного наконечника. Згідно з роботами [20,

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

22] теоретично визначений опір заглибленню конічного наконечника в ґрунт дорівнює:

$$P_{пр.плоск.}^{лоб.} = P_{кл1.} + P_{кл2.}, \quad (2.45)$$

Підставивши параметри РО, що можна виміряти (d , n , β), отримаємо:

$$P_{кл1.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{zp} (1 + fctg\beta),$$

$$P_{кл2.} = \frac{nd^2}{2} E_{zp} (1 + fctg\beta),$$

$$P_{пр.плоск.}^{лоб.} = 0,5d^2 (2n-1) E_{zp} (1 + fctg\beta).$$

По всьому периметру корпусу клинового наконечника РО діє бічний тиск ґрунту, який створює додатковий опір від сил тертя ґрунту по бокових стінках і краях наконечника. Визначимо цей опір.

Середній тиск ґрунту на бокові стінки і краї клинового наконечника, дорівнює [1, 40].

Довжина периметра корпусу наконечника дорівнює

$$L_{пер} = 2d(n-1) + 4d = 2d(n+1).$$

Опір від сил тертя визначається через площу бокової поверхні наконечника та середній тиск дорівнює:

$$F_{мп.} = 2d(n+1)b_{nf} \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.46)$$

Тоді сумарний опір від конусної та клинової частини наконечника буде мати вигляд:

$$P_{\Sigma кл.} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{zp} (1 + fctg\beta) + \\ + [\pi d + 2(n-1)d] b_{nf} \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right].$$

Тоді сумарний опір від конічного наконечника має вигляд:

					ДІПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$P_{\Sigma_{\text{кон.}}} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) +$$

$$+ 0,1\pi \left[\frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \right] f D \sigma_1 + \pi f D (l_y - 0,2) q_3.$$

Тоді сумарний опір від двох клинів наконечника (рис. 2.7) буде мати вигляд:

$$P_{\Sigma_{\text{кл.плоск.}}} = 0,5d^2 (2n-1) E_{zp} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) +$$

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

Для побудови графіків прийемо [32-35, 40, 45-46]:

- $2\beta = 40^\circ$ – подвійний кут при вершині клину та півконусу;
- розмір пілотного проходу $d_n = 0,08$ м;
- довжина наконечника $l_y = b_n = 0,3$ м;
- кількість однакових футлярів $n=1 \dots 5$ шт.;
- глибина прокладання $h=1.5$ м;
- діаметр футлярів 100 мм;
- характеристики тугопластичної глини – $\omega=23\%$, $c=0,04$ МПа, $\lambda=4,539$, $E_{zp}=0,818$ МПа, $a_q=0,044$, $a_{def}=9,80d$;
- характеристики напівтвердого суглинку – $\omega=17\%$, $c=0,04$ МПа, $\lambda=4,174$, $E_{zp}=1,071$ МПа, $a_q=0,044$, $a_{def}=8,21d$;
- характеристики твердого супіску – $\omega=10\%$, $c=0,020$ МПа, $\lambda=5,611$, $E_{zp}=2,363$ МПа, $a_q=0,05$, $a_{def}=15,241d$;
- характеристики піску – $\omega=6\%$, $c=0,0$ МПа, $\lambda=15,961$, $E_{zp}=7,293$ МПа, $a_q=0,075$, $a_{def}=86,8d$.

					ДПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Графіки $P_{\Sigma прк.}$ сили сумарного проколювання ґрунту порівнюваними РО отримаємо підставивши відповідні значення в формули (2.37) та (2.46) (рис. 2.10).

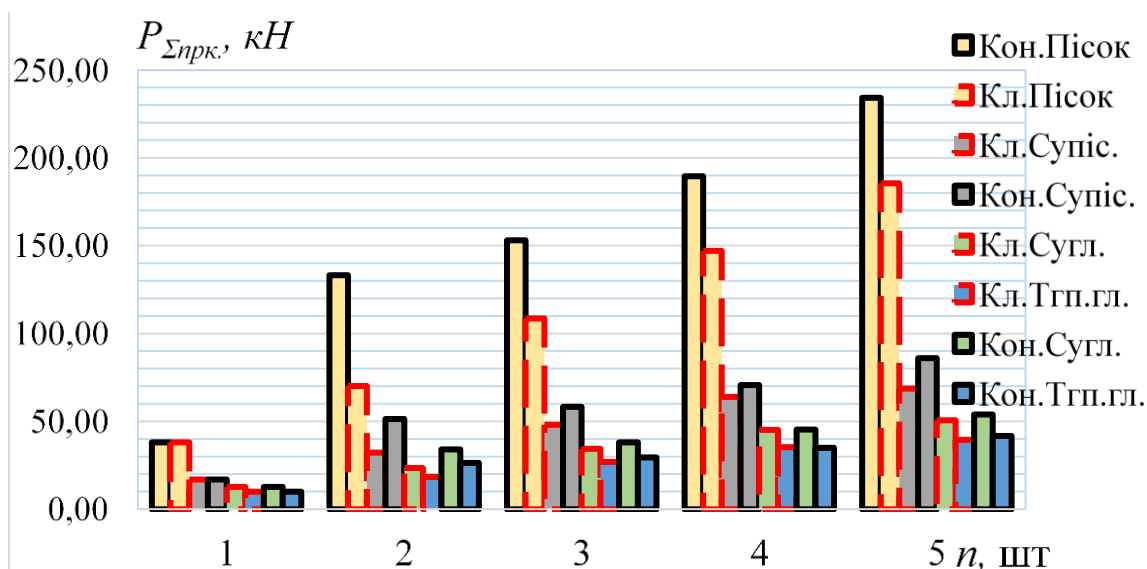


Рис. 2.9. Вплив кількості футлярів та форми робочого органу на сумарну силу проколювання ТПТ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО, напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок; Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок; Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

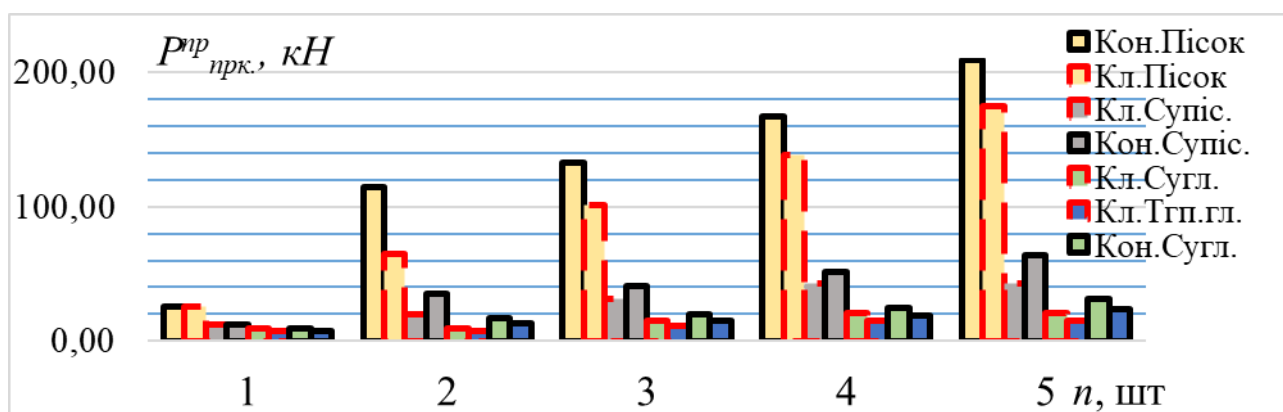


Рис. 2.10. Вплив кількості футлярів та форми робочого органу, з виступами, на приведену силу проколювання ТПТ: Кл.Супіс. – клиново-призматичний РО, твердий супісок; Кл.Сугл. – клиново-призматичний РО,

напівтвердий суглинок; Кл.Тгп.гл. – клиново-призматичний РО, тугопластична глина; Кл.Пісок. – клиново-призматичний РО, пісок; Кон.Супіс. – конічно-циліндричний РО, твердий супісок; Кон.Сугл. – конічно-циліндричний РО, напівтвердий суглинок; Кон.Тгп.гл. – конічно-циліндричний РО, тугопластична глина; Кон.Пісок. – конічно-циліндричний РО, пісок

2.4. Перевірка теоретичних досліджень експериментами

Метою експериментальних досліджень було підтвердження робочої гіпотези взаємодії клиново-призматичного наконечника з ґрунтом й обґрунтування раціональних параметрів робочого органу, які забезпечують мінімальне зусилля проколу та мінімальний вплив на сусідні комунікації в залежності від властивостей ґрунту та кількості футлярів [65].

Експериментальні дослідження мають підтвердити наукову теорію отримання ТПІ клиново-призматичним РО, яке реалізує методи статичного проколу ґрунту, та обґрунтувати їхні раціональні конструктивні та режимні параметри на основі розроблених теорій процесів взаємодії наконечників РО з ґрунтом при врахуванням деформаційних зон навколо ТПІ, мінімізації сили проколювання (рис. 2.11).

Проведені лабораторні експерименти з моделями РО на стенді (рис. 2.12) та польові випробування з натурними зразками, які обумовили розв'язання наступних задач:

- розробити програму експериментальних досліджень на лабораторному стенді (рис. 2.12) та виготовлення відповідно моделей змінних РО;
- дослідити вплив геометричних параметрів РО, на силові процеси формування отворів, визначити раціональні значення з урахуванням властивостей ґрунту та технологій формування отворів;
- порівняти дані експерименту з теоретичними та порівняти їх;
- встановити області ефективного використання методів статичного формування отворів.

					ДІПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Для проведення експериментальних досліджень використаємо моделі РО, розміри яких визначимо шляхом масштабування. За взірець використаємо трубчатий футляр найбільш поширеного розміру 100 мм, при цьому кількість одночасно монтованих футлярів варіює від 1 до 4 шт. розмір робочого органу для утворення ТПГ з рекомендацій збільшимо на 20% по відношенню до футляру. Масштаб моделювання 1:5. Результати розміщені в таблиці 3.3., зображення робочих органів рис. 2.3.

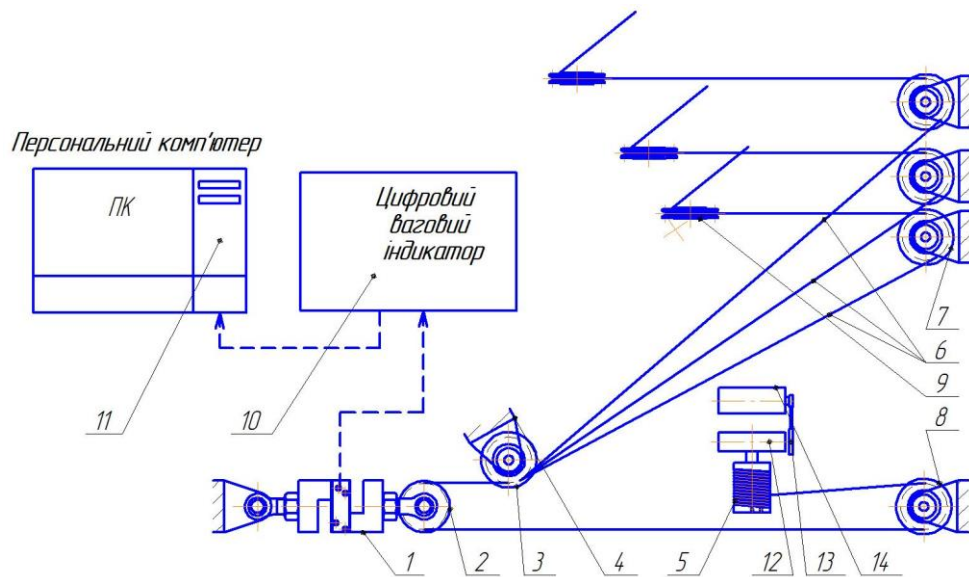
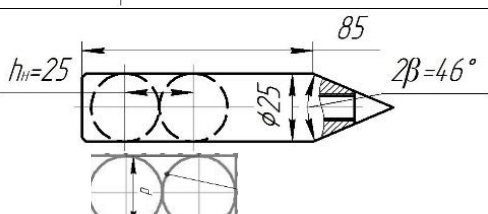


Рисунок 2.11 – Кінематична схема стенда для вимірювання зусиль та приводу канатів: 1 – тензодатчик; 2, 3, 7, 8, 9 – блоки, що відхиляють; 4 – провущина опорна; 5 – барабан тяговий; 6 – канат привідний; 10 – ваговий термінал; 11 – персональний комп'ютер; 12 – редуктор; 13 – клинопасова передача; 14 – електродвигун

Прийнявши для клиново-призматичних та конічно-циліндричних робочих органів однакові умови маємо (рис. 2.3): кут при вершині конуса або клину дорівнює $2\beta = 46^\circ$, ґрунт – лабораторний (суміш піску з супіском (табл. 2.3) (близький до вологого піску).

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Геометричні параметри РО для проведення експерименту.

	Типи РО та отвори, які ними тримаємо, розташування в них футлярів	Габарити лабораторного РО, мм		
		Діаметр, висота, ширина, мм	Кут загострення, β , град	Довжина РО, мм
1		$D_{po} = 25$ мм	$\beta = 23^\circ$	85
2		$b = 25, h_{кл} = 25$	$\beta = 23^\circ$	85
3		$D_{po} = 50$ мм	$\beta = 23^\circ$	55
4		$b = 25, h_{кл} = 50$	$\beta = 23^\circ$	85

Моделі РО, які сформовані для проколювання ТПГ в лабораторних умовах (табл. 2.3). Вірогідність математичної моделі процесу утворення ТПГ ущільнювальним робочим органом запропонованої конструкції у випадку відсутності точного аналога підтверджує якісно виконане фізичне моделювання експериментальних досліджень, результати фізичного моделювання можуть бути підставою для уточнення початкової математичної моделі.

Об'єктами експериментальних досліджень були наконечники РО для утворення ТПГ методами статичного проколу, шляхом поступового розширення ТПГ до потрібного розміру, а також ґрунтове середовище, яке визначає умови експлуатації ґрунтопроколюючих установок.

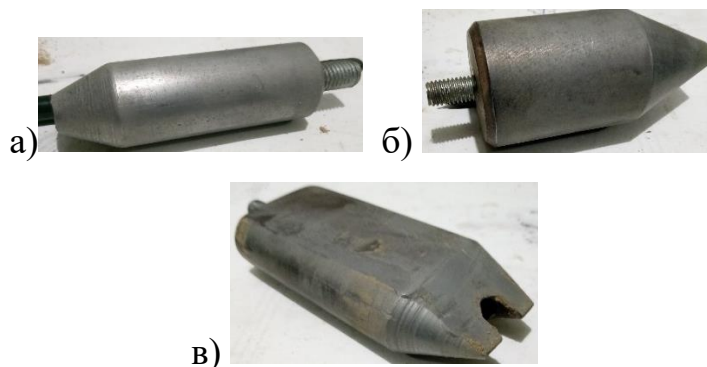


Рис.2.12. Робочі органи для лабораторних досліджень: а) – пілотний конусний РО; б) – традиційні конічний РО; в) – клиновий РО

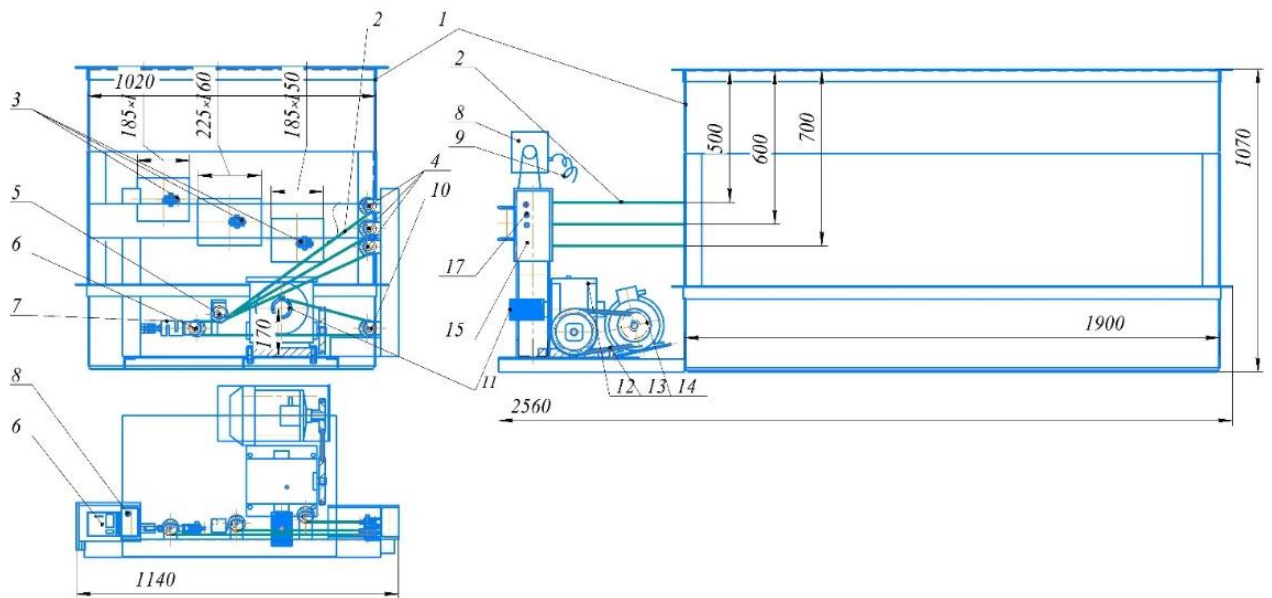
Для проведення лабораторних експериментів ґрунтовий фон був змодельований та складався з 8 частин річкового піску та 2 частин супіску.

В процесі проведення експериментів, ґрунт був зданий на дослідження, для визначення його фізико-механічних характеристик, до лабораторії ТОВ "ДНІПРОГЕОАЛЬЯНС", яка займається питаннями інжинірингу, геології та геодезії, надання послуг технічного консультування. Результати проведеного аналізу ґрунтів приведені в додатку А.

Ознакою технології статичного проколу ґрунту є створення зусилля, яке передається на наконечник РО для взаємодії з ґрунтом при цьому ґрунт, що витіснений РО втрамбується в стінки створеного ТПГ. Зважаючи на те, що натискні зусилля передати на наконечник РО важко, а у виробничих умовах дуже дорого і майже неможливо, приймаємо рішення отримувати пілотну ТПГ методом протягування стартового конусно-циліндричного РО.

З урахуванням вимог до розмірів обладнання, для проведення експериментальних досліджень, використано стенд (рис. 3.4), який виконує наступні функції:

- забезпечувати початкове впровадження пілотного РО у масив ґрунту;
- забезпечувати постійне тягове зусилля;
- забезпечувати сталу контрольовану швидкість проколювання, з можливістю її зміни.



б)

в)

Рис. 2.13. Загальний вигляд станда: а) – Креслений та габаритні розміри; б) – Вимірювальна система; в) – Процес впровадження робочого органу в ґрунт. 1 – короб; 2 – робочі канати; 3, 4, 5, 6, 10 – блоки, що відхиляють; 7 – силовий тензOMETричний датчик; 8 – ваговий термінал; 9 – лінія числового зв'язку з ПК; 11 – канатний барабан; 12 – редуктор; 13 – клинопасова передача; 14 – електродвигун; 15 – магнітний пускач; 16 – частотний перетворювач; 17 – резистор керування частотним перетворювачем; 18 – розетка живлення вагового терміналу та ПК

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розроблено і створено стенд для дослідження процесу проколювання (рис. 2.13). Вона складається з короба 1, в якому виконано по три люки симетрично розташовані розміром 150-200 мм. Короб заповнений ґрунтовою сумішшю (таблиця 2.2.). Перед коробом розташовано механізм приводу, що складається з редуктора 2, барабану, електроприводу 3, на барабані закріплений канат 5, який через систему блоків, що відхиляють, 4 зв'язаний з робочими органами. Швидкість переміщення контролюється за допомогою частотного перетворювача з векторним керуванням ПЧ CFM310- 4 кВ.

Ваговий термінал (рис. 2.14) типу ХК3118Т1 призначений для перетворення сигналу від аналогових тензодатчиків (рис. 2.15) в одиниці ваги (кг або фунти) й аналоговий сигнал на цифровий перетворювач RS-232. Сигнал з цифрового перетворювача записується на персональний комп'ютер для подальшої обробки даних. Основні технічні характеристики лабораторного стенда приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Технічна характеристика лабораторного стенда

Пор. №	Параметр	Розмірність	Значення
1	Довжина робочого ходу	мм	2000
2	Робоча швидкість каната	мм/с	0-150
3	Сила тяги, максимальна (обмежена міцністю канату)	Н	6500
4	Кількість робочих вікон	шт	3
3	Габарити вікна (висота/ширина)	мм/мм	150/200
5	Ваговий термінал типу ХК3118Т1	-	6-ти розрядний
6	Тензодатчик		Keli DEF 750
7	Діапазон зусиль, що вимірюються	Н	0-6000
8	Потужність приводу	кВт	0,75
9	Редуктор черв'ячний, 1Ч-80		1:40
10	Цифровий вологомір ґрунту Rapitest 1825, (діапазон/ціна поділки)	%/%	0-30/ 0,1
11	Габарити короба: довжина	мм	2000
	ширина	мм	1000
	висота	мм	1000

Замір та реєстрація сил опору проколювання ґрунту РО стенда здійснювався шляхом вимірювання натягу каната у двох гілках по схемі зображеній на рис. 3.9.. Фіксація сили ваговим комплексом Keli XK3118T1, (див. рис. 3.4, 3.6 - 3,8). Принцип дії тензометричного перетворювача базується на зміні опору тензорезисторів при їх деформації, наклеєних до пружного елементу S-подібного тензодатчика Keli DEF 750 (рис. 3.7), який деформується під навантаженням, що стискає, або розтягує. Зміна опору тензорезисторів пропорційна зміні сили прикладеної до нього.

На рис. 3.8. представлений механізм приводу канатного барабана з електродвигуном, редуктором, рамою, барабаном, блоками, що відхиляють.

Перед початком кожної серії експериментів виконуємо підготовку стенда. Ґрунт викопується з коробу, розпушується і зволожується до необхідних параметрів. Далі виконується пошарове зворотне засипання ґрунту в короб, з послідовним втрамбуванням кожного шару та контролем щільності щільноміром ДорНДІ.



Рис. 2.13. Ваговий термінал типу XK3118T1



Рис. 2.14. Тензодатчик Keli DEF 750

Дійшовши до осі майбутнього отвору (одне з трьох вікон стенда) закладаємо канат, діаметром 4,5 мм, між двома отворами паралельно боковим стінкам та основі короба (рис. 2.12), далі засипаємо його ґрунтом по 100-120 мм за один прохід ущільнюємо його ручною трамбівкою. Вологоміром вимірюємо вологість ґрунту поблизу осі майбутнього отвору, міцність ґрунту знаходиться в межах 25-35 ударів, перевіряємо ударником ДорНДІ (масштабна модель, рис.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

2.15), міцність перевіряємо на кожному шарі ґрунту де прокладаємо канат. Після операцію повторюємо до цілковитого заповнення короба.



Рис. 2.14. Принципова схема вимірювального вузла

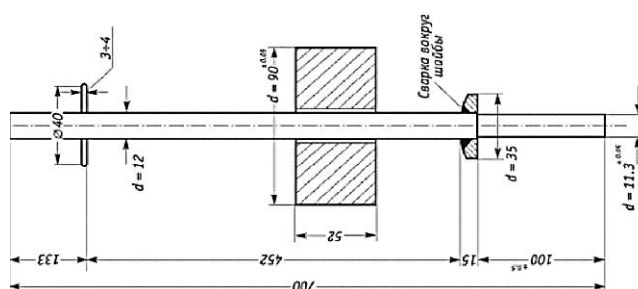


Рис. 2.15. Ударник ДорНДІ – креслення

2.5. Результати досліджень

Для перевірки гіпотез описаних в розділі 2.1-2.3 визначимо зусилля проколювання РО теоретично та практично на основі лабораторного експерименту. При проколюванні ґрунту клиновим, плоским або конічним наконечниками результати, масив чисел, заносимо в таблиць. Після серії експериментів з 10 досліджень, обробляємо результати та будуємо графіки. При цьому комбінуємо протягування одного отвору конусним наконечником, а іншого клиново-призматичним або навпаки.

Отримані масиви чисел перевіримо на наявність грубих промахів, які пов'язані з нестабільністю ущільнення ґрунту, та неоднорідністю самого ґрунту й на основі середнього значення будуємо графіки рис. 2.16-2.18.

					ДПТ. 630000. 306. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Побудуємо окремо графік залежності сумарного опору клинового, плоского та конічного наконечників від кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м (рис. 2.16).

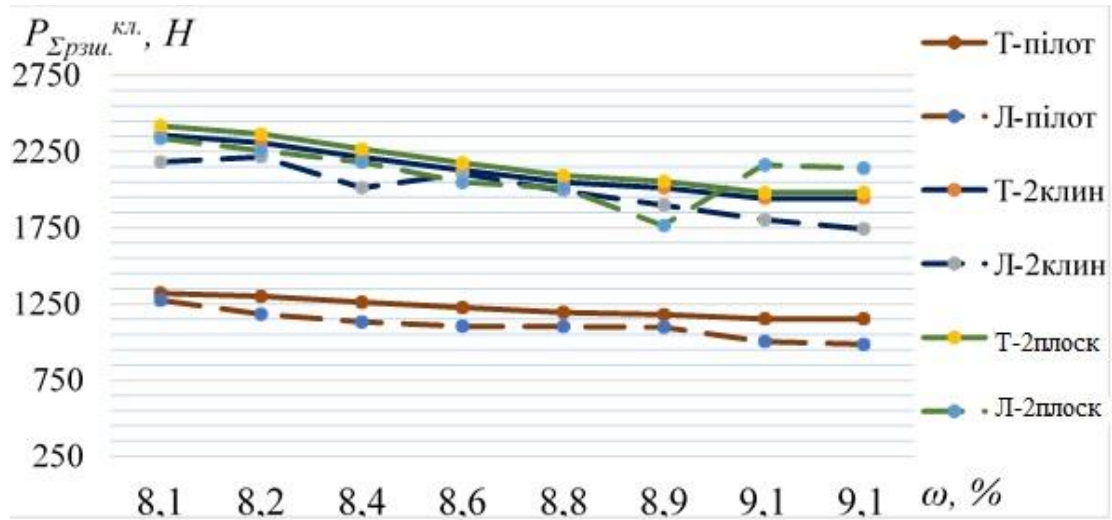


Рис. 2.16 – Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ клиновим та плоским РО від вологості ґрунту при 2 футлярах, що прокладаються на глибині 0,7 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - сила протягування пілота; 2 – кількість футлярів, що протягуються одночасно.

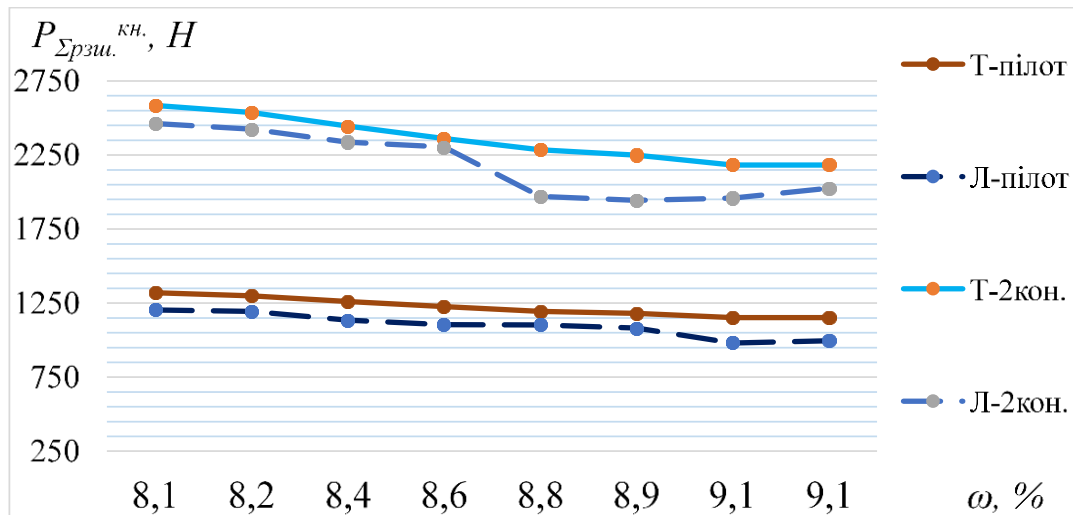


Рис. 2.17. Графік залежності сумарного опору розширення ТПІ конічним РО, від вологості ґрунту 2 футлярах, що прокладаються на глибині 0,7 м: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; «пілот» - зусилля протягування пілотного РО.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

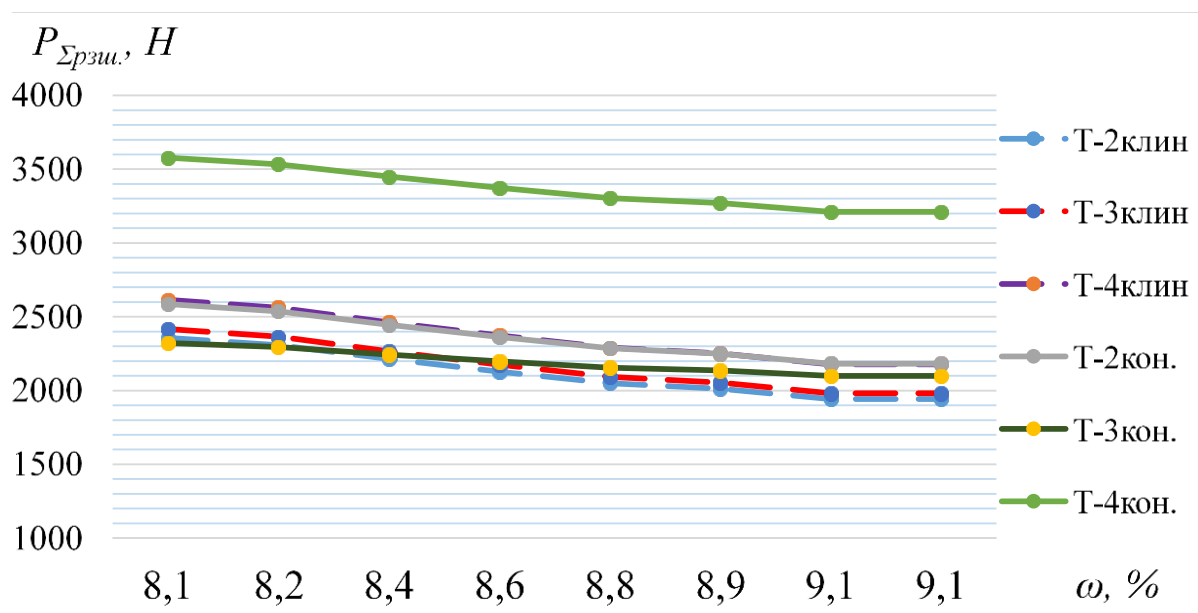


Рис. 2.18. Графік сумарного опору проколювання при поступовому розширенні ТПГ на глибині 0,7 м клиново-призматичними та конічно-циліндричними наконечниками, від вологості ґрунту: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; 2, 3, 4 – кількість футлярів, що протягуються одночасно

Визначивши енерговитрати на отримання ТПГ при поступовому розширенні отворів з використанням запропонованих конструкцій клиново-призматичних та традиційних конічно-циліндричних наконечників РО також показують істотне зменшення енерговитрат. Отримані графіки (див. рис. 2.16) показують істотне зменшення витраченої енергії при використанні клиново-призматичних наконечників, а також недоцільність використання способу проколу в піщаних ґрунтах оскільки енерговитрати для прокладання 2..3 футлярів в два рази вищі ніж в інших ґрунтах, а з попередніх розрахунків (2.17) зона розповсюдження надлишкових деформацій становить $a_{def} = (65,2...86,8)d$ – для піску.

ВИСНОВОК

Розроблене та створене стендове обладнання дає можливість проведення лабораторних досліджень з зусиллям до 6 кН, комплект змінних робочих органів масштабованих клинної, плоскої та конічної форми, що дає змогу проводити дослідження для перевірки теоретичних викладок отриманих теоретичними дослідженнями отримання отворів статичним проколюванням ґрунту для одночасного прокладання двох і більше футлярів.

Вихідні дані фізико-механічних властивостей ґрунту, що знаходиться в коробі стендового обладнання, визначались стандартизованими методами в умовах спеціалізованої лабораторії ТОВ «ДНПРОГЕОАЛЬЯНС», вологість визначається при кожному укладанні ґрунту експрес методом електронним приладом, щільність або якість ущільнення – ударником ДорНДІ.

Проведені експериментальні дослідження з перевірки теоретичних викладок працездатності запропонованої конструкції клинових та плоских РО, отримали графіки порівняння теоретичних та експериментальних даних, що показують ефективність запропонованої конструкції в порівнянні з традиційною, а також показують значне зростання сил та збільшенням зони впливу на комунікації в 5...8 разів у ґрунтах піщаного типу.

					ДІПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Кравець С.В., Кованько В.В., Лукянчук О.П. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин і підземнорухомих пристроїв: монографія. Рівне: НУВГП, 2015. 322 с.

[2] ДБН В.2.5 – 74: 2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. На заміну СНиП 2.04.02-84 ; чинний від 2019-02-01. Вид. офіц. м. Київ : Мінрегіон України, 2019. 301 с.

[3] ДСТУ-Н Б В.2.5-68:2012. Настанова з будівництва, монтажу та контролю якості трубопроводів зовнішніх мереж водопостачання та каналізації. На заміну СНиП 3.05.04-85 ; чинний від 2013-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2013. 74 с.

[4] ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. На заміну ДБН Б.2.2-12:2018 ; чинний від 2019-10-01. Вид. офіц. м. Київ : М-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2019. 178 с.

[5] ГБН В.2.3-37641918-555:2016. ГБН В.2.3-37641918-555:2016 Автомобільні дороги. Транспортні розв'язки в одному рівні. Проектування. Зі зміною № 1. На заміну ВБН В.2.3-218-192:2005 ; чинний від 2016-07-01. Вид. офіц. м. Київ : М-во інфраструктури України, 2016. 18 с.

[6] ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Зі Зміною № 1. На заміну СНиП 2.04.03-85 ; чинний від 2019-02-01. Вид. офіц. м. Київ : М-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2018. 13 с.

[7] Закон України. «Про охорону навколишнього природного середовища». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12> (дата звернення: 20.08.2023).

[8] Закон України. «Про оцінку впливу на довкілля». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19> (дата звернення: 20.08.2023).

[9] Закон України «Про землеустрій». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

					ДПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

[10] Закон України. «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2480-17#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

[11] Закон України. «Про охорону земель». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 20.08.2023).

[12] ДБН В.2.5.16-99. Інженерне обладнання споруд, зовнішніх мереж визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=4692 (дата звернення: 20.08.2022).

[13] ПУЕ. Правила улаштування електроустановок : довідник. м. Харків : "Форт", 2017. 760 с.

[14] Antonets Yu., & Oboznu A. L. (2020). XLPE-INSULATED POWER CABLES for voltages from 6 kV up to 30 kV. PJSC Factory "Yuzhcable". Kharkiv

[15] Бабич Є. М. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: підручник для студ. вищих навч. закл., які навчаються за напрямом "Водні ресурси" [Текст] / С. М. Бабич, Ю. О. Крусь. – Рівне: Видавництво РДТУ, 2001. – 367 с

[16] ICTPP 2009: Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications / Edited by Mohammad Najafi and Baosong Ma. – Shanghai, China, 2009. – 2137 p

[17] Горизонтально направлене буріння – Вікіпедія. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Горизонтально_направлене_буріння#Виробники_установок_ГНБ (дата звернення: 02.01.2024).

[18] Возникновение метода ГНБ. Экскурсия в историю. Блог о ГНБ и бестраншейных технологиях. URL: <http://xn----9sbbfd1ckm.com.ua/2012/06/istorija-gnb.html> (дата звернення: 03.01.2024).

[19] Горизонтальне шнекове буріння. Технологія, етапи, переваги. What – маємо відповідь. URL: <https://what.com.ua/gorizontalne-shnekove-byrinnia/> (дата звернення: 03.01.2024).

					ДПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

[20] Бурошнекове буріння – технологія й етапи робіт. ГНБ - прокладка труб методом горизонтально-шнекового буріння, ціни, технологія. URL: <https://gnb-stroy.com/articles/shnekovoe-burenie> (дата звернення: 03.01.2024).

[21] Безтраншейна прокладка труб продавллювання трубопроводів під дорогою, метод проколу, як прокласти. Фірма ООО ремонтна компанія «Веста». URL: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/beztranshejna-prokladka-trub-prodavljuvannja.php> (date of access: 03.01.2024).

[22] Принцип роботи та області застосування пневмопробійників. Безтраншейні технології: Пневмопробійники. URL: <https://jak.bono.odessa.ua/articles/princip-roboti-ta-oblasti-zastosuvannja.php> (дата звернення: 03.01.2024).

[23] Ditch Witch - Directional Drills, Trenchers, Vacs, & Skid Steers - Ditch Witch. Ditch Witch. URL: <https://www.ditchwitch.com/> (date of access: 03.01.2024).

[24] Vermeer Corporation - Industrial & Agricultural Equipment. Vermeer Corporation - Industrial & Agricultural Equipment. URL: <https://www.vermeer.com/em> (date of access: 03.01.2024).

[25] Universal Machinery - Офіційний дистриб'ютор XCMG. XCMG Ukraine. URL: <https://www.xcmg-ukraine.com.ua/> (дата звернення: 03.01.2024).

[26] Бурові машини для будівництва комунікаційних мереж | БУДИВЕЛЬНИК-3. Якісне проведення робіт з будівництва та реконструкції сучасних комунікацій | БУДИВЕЛЬНИК-3. URL: <https://bud-3.com.ua/technic/burovye-mashiny.html> (дата звернення: 03.01.2024).

[27] Najafi, M. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods / Mohammad Najafi. – [s. 1.], 2012. – 608 p.

[28] Auger Boring Technology - PERFORATOR. Ihr Spezialist für Bohrtechnologien - PERFORATOR. URL: <https://www.perforator.de/en/products/augerboring> (date of access: 14.01.2024).

[29] AVN Machine - Herrenknecht AG. Herrenknecht – Pioneering Underground Together - Herrenknecht AG. URL:

					ДІПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

<https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/avn-machine/> (date of access: 14.01.2024).

[30] Полтавцев, И., Ляхович, И. & Орлов, В. (1973). Комплексная механизация строительства линий связи. Киев.

[31] Ешуткин Д. Н. Высокопроизводительные гидропневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций [Текст] / Д. Н. Ешуткин, Ю. П. Смирнов, В. И. Цой, В. Л. Исаев. под ред. Д. Н. Ешуткин. – М.: Стройиздат, 1990. – 176 с.

[32] Terzaghi K., Peck R. V., Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice : підручник. New York : Wiley-Interscience, 1996. 534 p.

[33] Флорин В. А. Основы механики грунтов : підручник. Москва : Госстройиздат, 1961. 448 с.

[34] Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов.: підручник. Москва : Стройиздат, 1971. 368 с.

[35] Руднев В. Результаты по резанию грунтов прямолинейными ножами. Изв ВУЗов Строительство и архитектура. 1964. Т. 1, № 9. С. 112–117.

[36] Тимошенко В. Определение формы наконечника, обеспечивающей минимальное усилие прокола. Строительство трубопроводов. 1969. № 3. С. 18–20.

[37] Гене В. М., Тимошенко В. К. Влияние угла заострения конического наконечника на усилие прокола. Горные, строительные и дорожные машины. Горные, строительные и дорожные машины. 1970. Т. 9, № 9. С. 50–53.

[38] 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>.

[39] ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів. Режим доступу

					ДПТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54094 (дата звернення: 20.08.2022).

[40] Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2008. 124 с.

[41] Клин сила 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

[42] Клин з виступами сила 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>.

[43] Клин зона ущільнення 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).

[44] Посмітюха О. П. Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів: дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04. м. Дніпро, 2023. 201 с.

[45] Кон Кравець С.В., Супонев В.М., Посмітюха О.П. Аналітичний спосіб визначення опору ґрунту занурення конусного наконечника в ґрунт. Строительство. Материаловедение. Машиностроение: сб. науч. тр. Приднепровской академии строительства и архитектуры. 2017. № 97. С.91-98.

					ДІТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

[46] Конн+вист Кравець С.В., Супонев В.М., Посмітюха О.П.
Визначення еквівалентного та оптимального діаметрів конічно-циліндричного
наконечника з виступами для проколювання ґрунту. Наука та прогрес
транспорту Вісник ДНУЖДТ. 2017. №4 (70). С. 89-98.

					ДІТ. 630000. 306. КРІЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

