


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: Підвищення ефективності процесу утворення отворів у
переуцільнених ґрунтах методом статичного проколу
за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання»
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2226


(підпис студента)

/ Євген Хапаль /

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:

Increasing the effectiveness of the process of creating holes in overcompacted soils by the method of static puncture

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 / Yeyhen Khapal /



Scientific Supervisor:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

Normative controller:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

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:

Increasing the effectiveness of the process of creating holes in overcompacted soils by the method of static puncture

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 / Yevhen Khapal /

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

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)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

студенту Хапалю Євгену Вікторовичу

1. Тема роботи: Підвищення ефективності процесу утворення отворів у переущільнених ґрунтах методом статичного проколу

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 безтраншейних технологій

4.2 Теоретичні дослідження впливу вологи на процес проколювання

4.3 Перевірка впливу вологи на процес проколу робочими органами на стенді

5. Перелік графічного матеріалу:

Графіки залежності сили проколювання від форми РО, Графіки сили проколювання від вологості; Графіки сили проколювання від часу водонасичення,

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	Аналіз безтраншейного прокладання комунікацій	27.11-03.12.23	30%
2	Теоретичні дослідження взаємодії робочих органів з ґрунтовим	18-24.12.23	60%
3	Аналіз впливу вологи на ефективність процесу статичного проколу отворів у переущільнених ґрунтах	08-14.01.24	100%
4	Зміст. Вступ. Загальні висновки. Список використаних джерел	08-14.01.24	100%
5			
6			

Студент

_____ (підпис)

Євген Хапаль

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ПОСМІТЮХА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 60 сторінок

Найменування роботи: Підвищення ефективності процесу утворення отворів у переущільнених ґрунтах методом статичного проколу

Ілюстрації: схем _____; рисунків _____12_____;

графіків _____12_____;

таблиць _____8_____.

Ключові слова: ґрунт, конічний робочий орган, клиновий робочий орган, супісок, лобовий опір, статичний прокол, суглинок, пісок, лабораторний стенд.

Текст реферату:

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження впливу вологи на силу опору статичного проколювання горизонтальних отворів у ґрунті для прокладання підземних комунікацій.

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження ґрунту на базі лабораторії ТОВ «ДНПРОГЕОАЛЬЯНС». В якості зразків взяли ґрунти непорушеної будови природної вологості чи водонасичені природні зрізи суглинку жовто-бурого, супіску світло-сірого пилуватого та ущільнений зразок піску «лабораторного» які дослідили в компресійних приладах в умовах одноосьового статичного ступеневого навантаження без можливості поперечного розширення без та з замочуванням. За результатами лабораторних випробувань отримали графіки залежності компресійного модуля деформації ґрунту від його вологості та побудували графіки зміни опору статичного проколювання від вологи. В результаті було зроблено висновок, що значні осьові зусилля, при виконанні робіт, можна зменшити шляхом зміни вологи стінок пілотного отвору, що не вплине на стійкість ґрунту в зоні виконання робіт.

ЗМІСТ	
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ КОМУНІКАЦІЙ	8
1.1. Експлуатаційні проблеми підземних комунікацій міст	8
1.2. Прокладання кабелів	8
1.3. Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій	13
1.3.1. Горизонтальне шнекове буріння.	14
1.3.2. Горизонтально направлене буріння	16
1.3.3. Вібраційне та віброударне забивання футлярів	18
1.3.4. Статичне проколювання	22
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З ҐРУНТОВИМ	24
2.1. Аналіз теорій по дослідженню статичного проколу ґрунту	24
2.2. Обґрунтування форми та конструкції робочого органу для статичного проколювання ґрунту	26
2.3. Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО	27
2.4. Теоретичне визначення сили лобового та сумарного опору переміщення робочого органу в ґрунті	32
3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВОЛОГИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ СТАТИЧНОГО ПРОКОЛУ ОТВОРІВ У ПЕРЕУЩІЛЬНЕНИХ ҐРУНТАХ	40
3.1. Визначення фізико механічних характеристик змодельованих ґрунтів лабораторними методами	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

					ДІПТ. 630000. 311. КРПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Хапаль			Підвищення ефективності процесу утворення отворів у переущільнених ґрунтах методом статичного проколу	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Посмітюха					6	60
<i>Реценз.</i>						УДУНТ, гр. ПМ2226		
<i>Н. Контр.</i>		Посмітюха						
<i>Затверд.</i>		Ракша						

ВСТУП

Безтраншейні технології прокладання 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. Інноваційні 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, потічків, водойм і багатьох інших об'єктів ці технології є незамінні [1-5].

Одним зі шляхів підвищення ефективності процесу безтраншейного прокладання трубопроводів способом проколу є застосування оптимальної форми технологічної порожнини в ґрунті (далі – ТПГ), що дасть змогу істотно зменшити зусилля проколювання, а також зменшити зону розповсюдження зони переущільненого ґрунту.

Великі значення енергомісткості проходки ТПГ вказаними способами й невисокі значення ККД формування ТПГ роблять дослідження процесу взаємодії робочого наконечника складної форми з ґрунтом актуальними.

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

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІЗ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ КОМУНІКАЦІЙ

1.1. Експлуатаційні проблеми підземних комунікацій міст

Україна належить до числа індустріально-аграрних країн. Частка важкої промисловості складала до недавнього часу 60 % валового внутрішнього продукту країни, що істотно вище, ніж в західноєвропейських країнах, де цей показник складає приблизно 35 %. Саме підприємства важкої промисловості формують основне техногенне навантаження на навколишнє природне середовище. За статистикою до 90 % газоподібних, рідких та твердих відходів утворюються в містах та біля 10 % — у сільській місцевості [1].

У великих містах з інтенсивними транспортними потоками вміст у повітрі канцерогенних речовин типу бензопірена в 2–3 рази, а в центрах чорної металургії приблизно в 12 раз вищий, ніж в невеликих містах або сільській місцевості.

Другою не менш небезпечною екологічною проблемою міст є стан водопостачання, каналізаційного господарства та очистка стічних вод.

Практично в усіх містах України водопостачальні та каналізаційні системи потребують заміни або капітального ремонту. Часті прориви водопроводів та каналізаційних колекторів є постійними джерелами небезпечного забруднення міського середовища, а іноді приводять до спалаху інфекційних захворювань.

1.2. Прокладання кабелів

Безперервне зростання об'ємів прокладки силових кабельних ліній в землі висуває завдання вдосконалення існуючої або створення нової прогресивної технології прокладки кабелів, а також створення високопродуктивної техніки. Застосування безтраншейного способу відкриває можливість комплексної механізації монтажних робіт, що разом із

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

традиційним способом прокладки комунікацій в заздалегідь відкриту траншею забезпечує зниження трудовитрат в 4,5 – 5 разів [1-3].

Впровадження безтраншейного способу має техніко-економічні переваги та забезпечує вирішення ряду важливих завдань: збереження земельних угідь, перетин з природними перепонами, підвищення надійності змонтованих кабельних ліній, що знайшло своє підтвердження багатолітнім застосуванням її за кордоном.

Вибір безтраншейного способу прокладки кабелів залежить від діаметру і довжини прокладання кабелю, фізико-механічних властивостей і гідрогеологічних умов ґрунтів, що розробляються. Коли необхідно прокласти кабель малих чи середніх діаметрів в ґрунті який не має великих включень і більш менш однорідний, доцільно використовувати метод проколу, при цьому виникають деякі проблеми.

Найпершою проблемою при прокладанні кабелю безтраншейним способом є доступ до можливих установок агрегатів і обладнання [4] якими можна виконати прокладку кабелю, адже не всі будівельні організації та інші організації мають необхідне обладнання, яке доступне на сьогоднішній день в даний необхідний час. Також на вибір установок агрегатів і обладнання впливає час проведення робіт (пора року, кліматичні умови), велику роль у виборі машин або обладнання також має місце проведення робіт, адже поки, що на відкритих ділянках без перешкод та зміни рельєфів можливо доцільніше використовувати траншейні способи. Перш ніж використовувати технології прокладки необхідно пройти, перевірити і прозондувати ґрунти, переконатися у відсутності перетину траєкторії з вже прокладеними кабелями. Отримані дані дуже важливі для правильного підбору і настройки устаткування, що також є особливістю використання безтраншейних технологій.

Наступною проблемою яка може виникнути при прокладанні кабелю таким способом це можливість спорудження котловану, колодязю або траншеї в яку буде встановлюватися машина(установка). Однією з найбільших

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проблем при такому методі прокладання кабелю є збереження необхідної траєкторії проколу ґрунту, адже ґрунт не може бути проведений повністю і перешкоди в ґрунті, або навіть сила опору при проколі можуть змінити цю траєкторію. Так як зміни траєкторії майже неминучі (з досліджень) потрібно мінімізувати це відхилення до допустимого. Для цього можуть виконуватись попередні розрахунки, застосовуватись необхідні прилади.

Так як інші методи безтраншейної прокладки характеризуються більшими робочими діаметрами, які при протягуванні кабелю використовуються дуже рідко то використовувати їх буде не доцільно, адже це призведе до більших затрат.

При відкритому потрібне розкопування упоперек дороги траншеї з пошкодженням дорожнього покриття і зупинкою руху транспорту по ній на час прокладки комунікацій. Все це природно зв'язано з рядом незручностей для пасажирів, транспорту і, крім того, спричиняє за собою подорожання робіт, оскільки виникає необхідність відновлення дорожнього покриття і елементів впорядкування в місці переходу [1-2, 5-6].

Перспективнішими є закриті методи прокладки труб під дорогами, що не вимагають розробки траншей. При прокладці труб безтраншейними способами спочатку під дорогами влаштовують захисні кожухи або футляри, а потім в них прокладають самі робочі трубопроводи. Щоб це стало можливим, діаметр кожуха (футляра) повинен бути більшим, ніж діаметр трубопроводу, що прокладається.

Для захисних кожухів (футлярів) застосовують сталеві труби: безшовні гарячекатані, зварні прямо шовні і спіральні-шовні. Гарячекатані застосовують тільки для кожухів переходів трубопроводів діаметром до 273 мм, а для трубопроводів великих діаметрів використовують зазвичай великорозмірні зварні прямо- або спіральні-шовні труби.

Довжину кожуха визначають виходячи з ширини дорожнього полотна (або дорожньому насипу) і нормативних відстаней, що рекомендуються.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оберігають кожухи від корозії азбесто- або піщано-цементними, епоксидними або полімерними антикорозійними покриттями, що наносяться на їх внутрішню поверхню [7-8].

Закриту прокладку труб кожухів (футлярів) виконують в основному способами проколу, продавлювання, горизонтального буріння, а для прокладки колекторів і тунелів застосовують щитовий і штольневий способи підземних проходок.

Прокол краще застосовувати для прокладки труб малих і середніх діаметрів (не більше 400-500 мм) в глинистих і суглинних (зв'язкових) ґрунтах. Обмеження діаметру проколювання отвору обумовлене тим, що при цьому способі масив ґрунту проколюють трубою, оснащеною наконечником, без видалення ґрунту зі свердловини, унаслідок чого для проколу потрібні значні зусилля. У зв'язку з цим і довжина проколу труб не перевищує 60 – 80 м.

Ще однією особливістю використання устаткування є попереднє надійне закріплення установки. Зневага цим правилом приводить до надмірного зносу і швидкого псування устаткування. Взагалі установка устаткування і загальна організація місця для роботи дуже важливі для всього процесу безтраншейного прокладання комунікацій, тому під час установки, налагодження і підготовки устаткування потрібно слідувати організаційному плану дій. Під час організації місця для проколу ґрунту необхідна при установці устаткування особливу увагу звернути на ухил ґрунту.

При виборі устаткування потрібно звертати увагу на характерні особливості, обумовлені специфічним призначенням. А саме: на експлуатаційні витрати під час, джерел енергії, якість і матеріали окремих компонентів системи, а також кут проколу і діаметр первинного керованого проколу, важливою рисою різних установок є довжина, на яку здійснюється управління проколом. Прокладка здійснюється з використанням футлярів із металу, поліетилену, полівінілхлориду та бетону.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При проведенні робіт за безтраншейними технологіями прокладення комунікацій слід ретельно дотримувати вимоги охорони праці, щоб уникнути враження електричним струмом, слід бути обережним з високим тиском гідроустановки чи іншими небезпечними факторами.

Устаткування для безтраншейних робіт представлено в широкому спектрі в кожній ціновій категорії. Це обумовлює ще одну особливість робіт такого типу – величезний розкид цін в різних компаніях, що пропонують свої послуги. При цьому професіоналізм працівників, що використовують таке устаткування, не завжди має необхідний рівень, тому персонал, що працює з устаткуванням, повинен постійно навчатися новим технологіям, щоб процес безтраншейної прокладки труб під кабелі, прокладки труб під воду і газ був не тільки швидким і якісним, але і виключав можливості нещасних випадків. У разі безтраншейного прокладення комунікацій важливо не тільки швидко зробити керований прокол, але і правильно визначити траєкторію, щоб не зачепити вже створені комунікації. Для підвищення рівня робіт слід постійно стежити за станом устаткування, своєчасно виконувати ремонт.

Наступна проблема – це брак кваліфікованих кадрів. Багато підприємств мають в своєму розпорядженні новітні машини найбільших світових виробників, таких як Tracto-technik, Ditch Witch і Vermeer, але при цьому не уміють як слід ними користуватися [9-11]. Причина в персоналі, який раніше мав справу все з тими ж лопатою і екскаватором. Все це посилюється тим, що карти підземних комунікацій, що є на сьогоднішній день, в своїй більшості застаріли і досить неточні, прокладені нові комунікації, які не зовсім точно нанесені на карти, що є причинами, по яких буріння «усліпу» має великі ризики.

Зусилля, потрібні для проколу труб, коливаються в межах від 150 до 2000 кН. Визначивши зусилля продавлювання [12-15], приймають необхідне число гідроциліндрів для силової установки, а також вибирають тип гідронасоса. Для проколу труб частіше всього застосовують насосно-

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

домкратні установки, що складаються з одного або двох спарених гідравлічних домкратів змонтованих на загальній рамі.

1.3. Безтраншейні способи прокладання підземних комунікацій

Безтраншейні технології, відомі як NO-DIG TECHNOLOGIES – це варіант виконання робіт в підземному будівництві без розкопування ґрунту. Під час використання безтраншейних технологій понад 90% всіх робіт проводиться під землею. Інноваційні технології можна використовувати під час прокладки кабелів різного призначення, будівництва водо-нафто-газо-проводів, ремонту водопровідних та каналізаційних мереж [16-19].

З огляду технічної літератури та практики спорудження підземних переходів встановлено, що для прокладання лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури в міських умовах, безтраншейним методом, найбільше підходять малогабаритні установки [20-22], які потребують мінімальної площі для організації виробничого процесу та можуть забезпечити виконання робіт з невеликих приямків (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Класифікація безтраншейних технологій отримання ТПГ для ЛПО підземних комунікацій

Розглянемо особливості кожної групи окремо. Формування ТПГ шляхом радіального втрамбування ґрунту виникає при осьовому просуванні РО з конусним наконечником. При цьому зусилля витрачається як на втрамбування об'єму, що витісняється, так і на подолання опору тертя ґрунту по робочій та бічній поверхнях РО.

1.3.1. Горизонтальне шнекове буріння.

Горизонтально шнекове буріння (далі ГШБ) застосовується для прокладення труб різного діаметру в ґрунтах I - III категорії міцності. При цьому виключаються значні деформації поверхні та ризики обвалу забою, що особливо важливо при прокладанні лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури під наявними спорудами й комунікаціями. Діаметр труб, що прокладаються, коливається від 0,15 м до 1,8 м відстань між колодязями 200 м і більше [23-24] (рис. 1.2).

На рисунку (див. рис. 1.2.) наведена схема розробки ТПГ за допомогою установки ГШБ. Пілотна бурова голівка 8 з системою контролю прямолінійності, закріплена попереду пілотних штанг 7, що рухаються із робочого напрямку 1 до прийомного напрямку 2. Рух та керування РО виконується за допомогою бурової установки 3, що обпирається на регульовані опори рами, з приводом обертання та осьового переміщення. Після виходу штанг на їх місце встановлюють розширювач 9, прикріплений до секцій обсадних труб 11. Останні містять всередині шнек 10, який в міру просування в сторону прийомного напрямку викопує ґрунт і транспортує його в стартовий приямок. Після серії повторів розширювач виходить в прийманий приямок, де разом зі штангами знімається зі шнеків й обсадної труби, шнеки виймаються через стартовий приямок у зворотному порядку. Процес прямолінійності проколу спостерігається в моніторі-повторювачі 5 за допомогою камери 6 встановленої позаду рами приводу. Привід усіх робочих

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

агрегатів відбувається за допомогою гідростанції 4, розташованої поблизу прямоку.

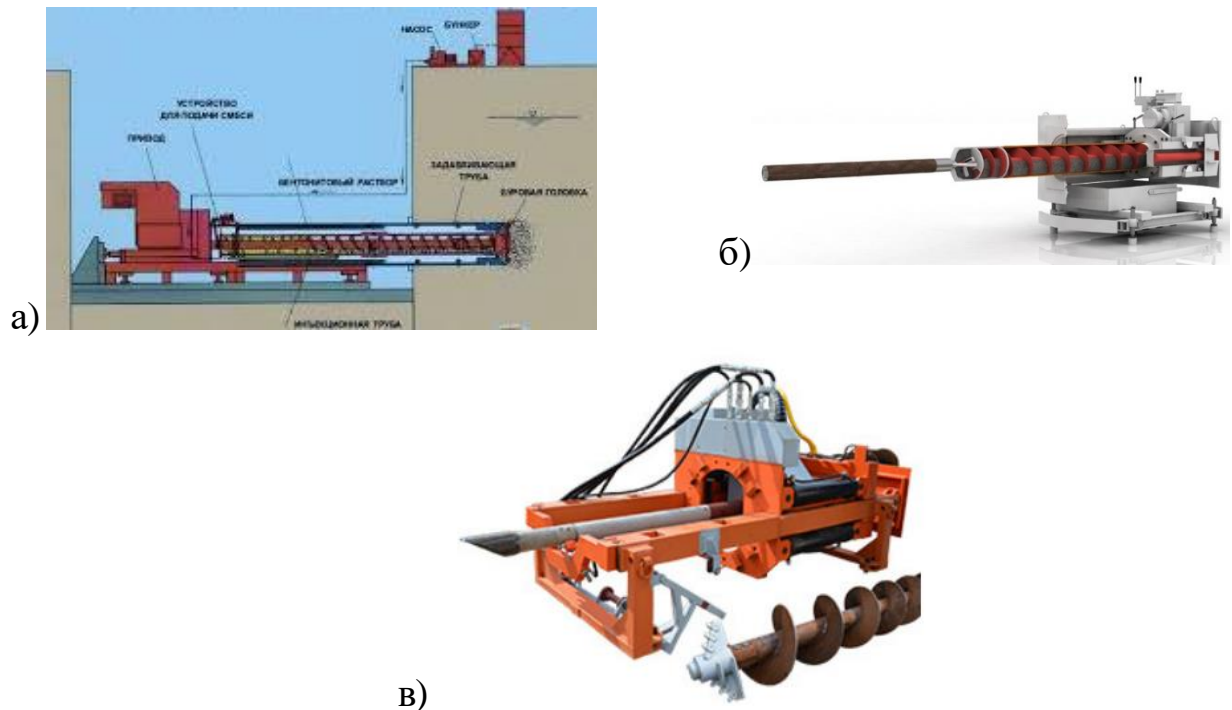


Рис. 1.2. Схема розробки отворів горизонтально-шнековим бурінням: а) – Схема роботи з робочого прямоку; б) – Привід установки з шнеками та направляючими штангами; в) – Установка з пілотним буром і шнеком.

На сьогодні провідними виробниками установок горизонтально шнекового буріння на Європейському континенті є компанії PERFORATOR [25] і BOHRTEC [26]. Основними перевагами цих установок є високий рівень прямолінійності проходження отворів для прокладання футлярів та великі діаметри отворів (від 600 мм до 2000 мм).

Основними недоліки таких машин є великі габаритні розміри установки та напрямків, неможливість отримати керовану непрямолінійну траєкторію отвору, висока енергомісткість процесу, неможливість роботи в перезволожених ґрунтах.

1.3.2. Горизонтально направлене буріння

Горизонтально направлене буріння (ГНБ) на сьогодні є таким, що найдинамічніше розвивається серед інших методів будівництва лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Принцип цієї технології полягає в наступному [9-11, 27-28] (рис. 1.3). Спочатку по трасі трубопроводу, що прокладається, здійснюють пілотне буріння, за допомогою пілотної бурової голівки в передній частині якої встановлено випромінювач. Бурова голівка сполучена зі штангами, що дозволяє керувати процесом утворення пілотної свердловини й обходити, виявлені перешкоди у будь-якому напрямі в межах допустимого радіусу вигину штанг.

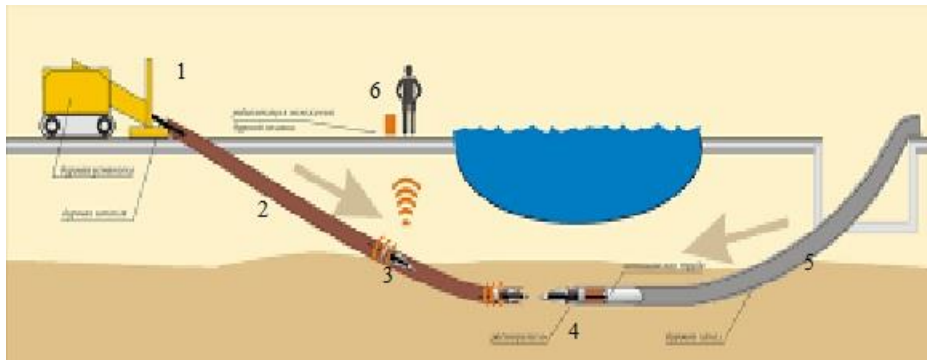


Рис. 1.3. Технологія горизонтально-направленого буріння ГНБ:
1 – бурова машина; 2 – штанги бурові; 3 – пілотний бур з навігаційним випромінювачем; 4 – розширювач (ример) з вертлюгом; 5 – трубопровід; 6 – локаційне обладнання.

При передачі лише поступального руху штангам - траєкторія зміщується в сторону скосу голівки, при комбінації поступального й обертального руху бурова голівка та штанги рухаються прямолінійно. Таким чином, міняючи режими, досягається проектна траєкторія свердловини.

Розширення свердловини здійснюється під час зворотного руху штанг з прикріпленим розширювачем (римером) (рис. 1.4), який шляхом розбурювання та перемішування ґрунтової породи з буровим розчином

збільшує діаметр свердловини до потрібного розміру, отримана пульпа виноситься з зони буріння в напрямки та випомпується для утилізації або повторного використання.

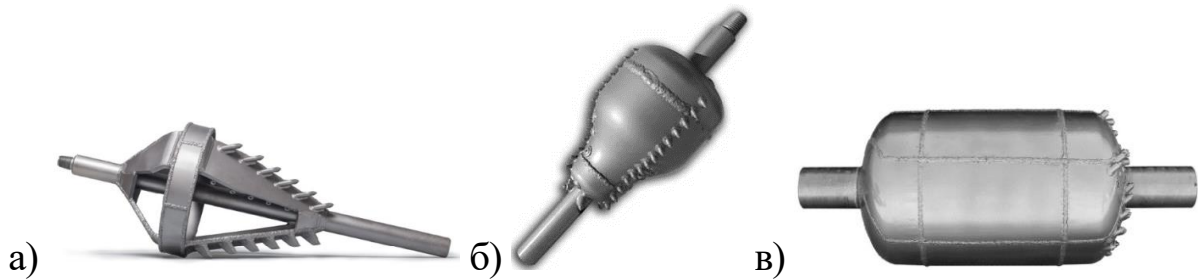


Рис. 1.4. Розширюючі робочі органи для ГНБ установок: а) – ример ріжучий, діаметр 250-2000 мм; б) – ример «морква» ріжуче-ущільнюючий, діаметр 250-1500 мм; в) – ример «бочка» ріжуче-ущільнюючий-калібруючий, діаметр 500-2500 мм

Зараз створені установки, що дозволяють прокладати трубопроводи діаметром від 100 мм до 2500 мм на глибині до 20 м і довжиною до 2,5 км.

Основними виробниками установок ГНБ є компанії: Vermeer (USA) (рис. 1.5), Ditch Witch (USA), Astec Industries Ins (USA), Tracto-Technik (Німеччина), Sany Heavy Industry CO (Китай) [9-11, 27-28].



Рис.1.5. Установка ГНБ фірми Vermeer: 1 – силова установка з рамою; 2 – кабіна оператора; 3 – привід бурових штанг; 4 – направляюча рама приводу бурових штанг; 5 – ключі з гідроприводом для розкручування штанг; 6 – магазин штанг; 7 – анкерні пристрої; 8 – ходове обладнання; 9 – pompa подачі бурової рідини

Основні переваги: широкий діапазон розмірів свердловин та їх довжин, можливість використання криволінійної траєкторії, одночасне затягування футляра в отриману свердловину, заповнення пустот пульпою, яка при згущенні надійно закріпить футляр у порожнині.

Разом з перевагами ГНБ має недоліки: висока вартість робіт; обмежене застосування за негативних температур повітря; економічно не вигідна на коротких дистанціях (до 20-30 м) і малих діаметрах трубопроводів; великі габарити установки та допоміжного обладнання; висока вартість установки.

1.3.3. Вібраційне та віброударне забивання футлярів

Теоретично доведено, що сухі піщані, супіщані і водонасичені ґрунти погано стискаються та не можуть дати стійкий отвір, тому статичний прокол ускладнено або неможливо виконати через великі опори руху робочого органу та обсипання стінок. В таких випадках застосовують вібраційні інтенсифікатори. Для отримання стану плинності піщаної маси використовують вібратори осьових, колових та поперечних коливань спрямованої або кругової дії та вібромолоти, які, крім вібрації, передають РО ударні імпульси. Вібраційний прокол передбачає одночасну дію статичного і вібраційного навантаження на РО (рис. 1.6). Віброударний прокол супроводжується, крім прикладеного навантаження, ударним імпульсом, що діє на трубу з конусним наконечником, в напрямку прийомного напрямку [29-30]. На (рис. 1.6) наведена схема віброударного проколювання з динамічним впливом в осьовій площині для утворення ТПД діаметром від 20 мм до 450 мм.

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.

Проколювання ґрунту застосовують для прокладення трубопроводів різного призначення діаметром до 426 мм в глинистих і суглинних ґрунтах, при максимальній протяжності проходок до 40-60 м.



Рис. 1.6. Пневмопробійник для проколювання ґрунту та забивання труб фірми HAMMER

Пневмопробійники (рис. 1.6.) і пневмомолоти успішно використовуються для забивання труб-футлярів (рис. 1.7.) 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.

До переваг відносяться: простота використання пневмо-пробійників; висока швидкість робіт; зменшення собівартості; реверсивність; можливість забивання труб під різними кутами до горизонту; можливість поєднання пробивання та затягування футлярів; забивання труб великого.

До недоліків відносяться: необхідність використання додаткового обладнання (компресор, гідростанція, електростанція); некерована траєкторія; різка зміна траєкторії на слабких ґрунтах та пливунах; необхідність вибурювання ґрунту з футляра (при забиванні "відкритим кінцем"); - істотне ущільнення стінок отвору, що приводить до збурення ґрунту на поверхні або руйнація комунікацій, що проходять поруч; руйнація інших комунікацій при зустрічі з робочим органом; великі динамічні навантаження на сусідні об'єкти.



Рис. 1.7. Схема забивання труб діаметром 1000 мм, пневмоударною машиною М400

Труба 2, що прокладається, з конусним наконечником 1 та блоком вібраторів 3, що встановлюється в конусному наконечнику (з заднього торця труби), та має парне число дибалансів вібраційні та натискні зусилля передаються через трубу, або, (див. рис. 1.8 б), через напірний шомпол 4. Останні, обертаючись у різні сторони, збуджують вимушені сили. Вертикальні складові цих сил взаємно врівноважуються, а горизонтальні, які спрямовані вздовж осі труби, складаються. Модифікація з віброзбуджувачем, що розташований в робочому наконечникові футляра та має вібратор кругових вібрацій 3 (рис. 1.8 в)), а осьові зусилля створює труба 2, що прокладається, або ж варіант з саморушійним гідравлічним [13], або пневматичним молотом

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

5 (рис. 1.8 г)), що розташований в торці труби та передає на робочий наконечник 1 осьові ударні та вібраційні сили [29].

Сумарна вимушена сила вібратора визначається числом дибалансів, їхньою масою і частотою обертання, яка дорівнює частоті коливань вібратора.

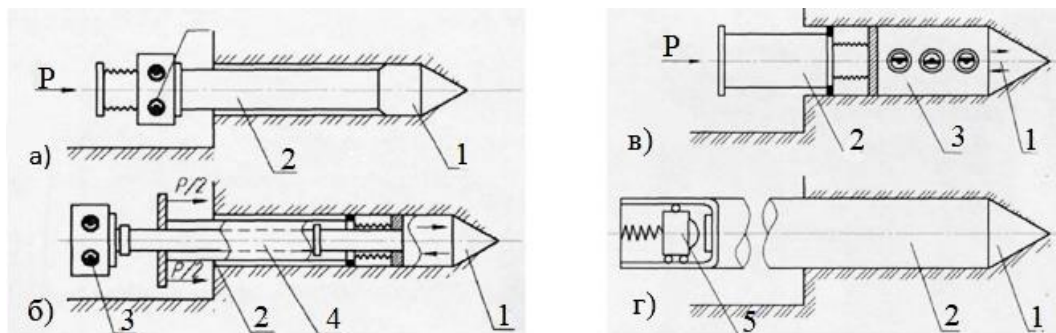


Рис. 1.8. Схеми віброударного проколювання з динамічним впливом в осьовій площині: а) – вібрація передається на трубу і наконечник; б) – вібрація передається тільки на наконечник; в) – віброзбудник вмонтований в наконечник; г) – віброударне проколювання; 1 – конусний наконечник; 2 – труба, що прокладається; 3 – блок вібраторів; 4 – напірний шомпол для з'єднання вібратора з наконечником; 5 – віброударний блок

Основними перевагами віброударного проколювання є можливість прокладати сталеві футляри в сипких піщаних ґрунтах, суттєво знизити силу проштовхування футлярів.

Основним недоліком віброударного проколювання є габарити установок та приямків, великої кількості допоміжного інструменту, механізмів та персоналу, що залучений до виконання робіт з чого впливає велика вартість виконання робіт, а як результат низький ККД роботи, неможливість використання віброударного проколювання в умовах міської забудови (сейсмічний вплив на основу будівель).

1.3.4. Статичне проколювання

Статичний прокол – один з найпростіших способів безтраншейної технології прокладання лінійних об'єктів та є впровадженням в ґрунт конусного наконечника, рекомендовано застосовувати для прокладання, в глинистих і суглинистих ґрунтах I-III категорії, труб діаметром до 350 мм на відстань до 30-80 м. Зустрічаються випадки проколу ґрунту і до 500 мм довжиною 100 м (рис. 1.9 - 1.10).

Під час статичного проколу до заднього торця труби, що прокладається (шомпола), прикладають осьове зусилля від гідравлічного, пневматичного або механічного домкрата [30-33]. При цьому труба виконує роль натискного шомпола для просування конусного наконечника і роль захисного футляра, що залишається після проколу. Приклад статичного проколювання наведено на рис. 1.8.

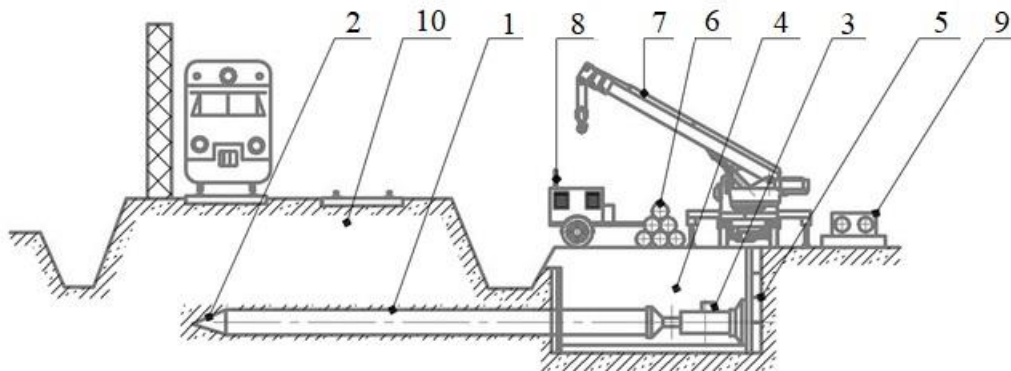


Рис. 1.9. Схема статичного проколу під насипом залізниці: 1 – труба, що прокладається; 2 – робочий наконечник; 3 – гідродомкрат; 4 – робочий прямок; 5 – упорний щит; 6 – труби для прокладання; 7 – мобільний кран; 8 – зварювальний агрегат; 9 – гідростанція, для живлення домкрата; 10 – залізничний насип

Статичне проколювання як правило проводиться за декілька етапів (рис. 1.10), за допомогою силових циліндрів та гідростанції, в декілька етапів: робочі штанги з наконечником по черзі вдавлюються в ґрунт, у напрямку визначеному оператором, до виходу в приймальний або проміжний прийомки,

розширення отворів розпочинається з моменту виходу першої штанги до приймального приймка де з неї знімають пілотний наконечник та закріплюють перший розширюючий конус більшого розміру. Процедура може повторюватись декілька разів до отримання необхідного розміру.

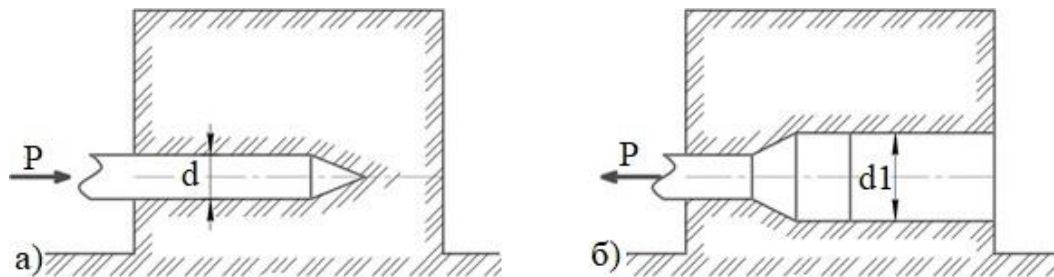


Рис. 1.10. Розробка ТПГ поетапним статичним проколом ґрунту:
а) – пілотна проходка проколом; б) – розширення ТПГ конусним розширювачем

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ОРГАНІВ З ҐРУНТОВИМ

2.1. Аналіз теорій по дослідженню статичного проколу ґрунту

Основними напрямками розвитку No-Dig технологій прокладання комунікацій у світі є горизонтально спрямоване буріння (ГНБ), мікрононелювання, статичне проколювання ґрунту та протискування труб-футлярів та у вигляді статичного проколу з екскавациєю ґрунту. В Українській та світовій науковій періодиці, були виділені роботи наших вчених Кованько В. В., Пінчук В. А., Кравець С. В., Супонев В. М. та закордонних дослідників Chehab, A. G., Moor I. D., Erez N., Najafi M., Baosong Ma., Anna Pridmore, Jim Geisbush [2, 30, 33-34] де розглянуті активні та динамічні методи No-Dig технологій.

В роботах Супонєва В. М., Хачатуряна С. Л., Руднєва В. К. [30, 34-36] де визначається вплив ґрунту на комунікації, що розташовані поруч, та на футляри.

Питаннями дослідження процесів впровадження в ґрунт робочого органу або трубопроводів методом статичного проколювання, займались ряд вчених та пропонували формули для визначення сили впровадження конусного РО в ґрунт:

- А. С. Вазетдінов [37] пропонує формулу для визначення зусилля, що виникає при проколі ґрунту конусним РО:

$$P = \frac{\sigma_r \pi R^2}{0,01n_0}, \quad (2.1)$$

де σ_r – середнє радіальне напруження;

R – радіус свердловини;

n_0 – первісна пористість ґрунту.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З цього випливає, що зі збільшенням пористості ґрунту сила має зменшуватись (цим критерієм не відповідає сухий пісок), не врахована вологість, зовсім відсутній кут загострення РО, не враховано тертя поверхонь РО об ґрунт, а середнє радіальне напруження σ_r нам не відоме і в довідниках воно відсутнє – має бути отримане експериментально.

- В. К. Тимошенко [38] визначає вплив форми та кута загострення робочого наконечника на зусилля проколу в різних ґрунтах:

$$P = \pi R^2 \sigma_r \frac{\operatorname{tg}(0,5\alpha_k + \varphi)}{\sin 0,5\alpha_k}, \quad (2.2)$$

де α_k – кут загострення конуса;

φ – кут зовнішнього тертя ґрунту.

При цьому невідоме середнє радіальне напруження σ_r відсутнє в довідниках воно – має бути отримане експериментально, у випадку коли $0,5\alpha_k = 0$ зусилля визначити неможливо.

І. С. Полтавцев [12] пропонує визначати зусилля з геометричних параметрів наконечника і зовнішнього кута тертя ґрунту φ , а контактні напруження, отримані дослідним шляхом, виражені через кут загострення наконечника α_k і радіус основи робочого органу R , а тому ця формула може бути застосована тільки для досліджених ґрунтів.

$$P = \frac{25,2 \sin(0,5\alpha_k + \varphi) \sqrt{R}}{\cos \varphi \cdot \sin 0,5\alpha_k \cdot \sqrt{\sin 0,5\alpha_k}} \pi R^2. \quad (2.3)$$

С. В. Кравець [15, 32, 34], В. В. Кованько [34] В. М. Супонєв [30, 32, 33] пропонує формулу для визначення зусилля заглиблення конусної частини РО та напруження на границі пружної та пластичної зон, що діють на поверхні робочого органу використовуючи знання про тип ґрунту, його фізико-механічні властивості по ДБН та вологість, але зовсім не розглядається питання форми відмінної від циліндричної.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Напруження на межі ґрунт – робочий орган [15, 32, 34] С. В. Кравець та В. В. Кованько визначають як:

$$\sigma_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \left| \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \right|, \quad (2.4)$$

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

φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту;

h – глибина на якій здійснюється прокол.

Зусилля заглиблення конусної частини наконечника

$$P_{пр.кон.} = \frac{\pi}{8} \left(\left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\pi}{n}} \right) d \right)^2 E_{zp} (1 + fctg\beta). \quad (2.5)$$

де d – діаметр одиничного футляру;

n – кількість футлярів.

2.2. Обґрунтування форми та конструкції робочого органу для статичного проколювання ґрунту

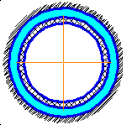

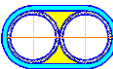
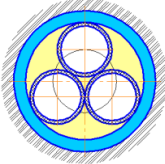
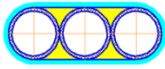
Відповідно до досліджень Главацького К. та Посмітюхи О. [39, 40] та практичного застосування установок статичного проколювання ґрунту, фірми ТОВ «МБК СІНЕРГІЯ», м. Дніпро, найбільше затребувані технології з корегуванням траєкторії проходу, при спорудженні кабельних мереж в одному отворі прокладають 2, 3, рідше 4 футляри. Проаналізувавши дані (див. таблиця 2.1) виявлено, що найбільший відсоток порожнечості та площа даремно ущільненого ґрунту буде при використанні традиційного робочого органу

					ДІП. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

конусної форми. Було запропоновано нову форму клинового робочого органу для отримання порожнин під футляри необхідних розмірів.

Таблиця 2.1

Варіанти розташування комунікацій в порожнині

№ 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		$S_{\Sigma ТПГ}=27,72 \text{ см}^2$	$S_{nom}=19,29 \text{ см}^2$	$S_n=6,35 \text{ см}^2$
5		$S_{\Sigma ТПГ}=18,68 \text{ см}^2$ 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 $\Delta=65,2\%$

2.3. Вихідні дані про ґрунтове середовище для дослідження РО

Ґрунт – це систему, що складається з мінеральних частин, простір між якими певною мірою заповнено водою та повітрям [41-45], їх властивості залежать від співвідношення твердої фази часток та діляться на: піщані, пилові та глинисті, суттєвий вплив на механічні властивості ґрунтів має відсоток глинистої фракції.

Процес статичного проколу ґрунту при формуванні горизонтальних порожнин полягає в ущільненні ґрунту з природнього стану до переущільненого безпустотного, при незмінній масі, раціональною областю використання статичного проколу є малозв'язні ґрунти I-III категорії, з кам'янистим включенням не більше 50 мм та природною вологістю. В різних

регіонах України 80–85 % становлять ґрунти, які класифікуються по числу $C_{уд}$ ударів щільноміра ДорНДІ, числу пластичності, вологості, відсотку глинистої фракції. Зв'язність ґрунту показує результат взаємодії частин між собою та водою. Вологість та гранулометричний склад головним чином впливають на зв'язність ґрунтів. Піски належать до незв'язних, супіски - до малозв'язних ґрунтів. Суглинки та глини мають значну зв'язність мають тому вони належатимуть до зв'язних.

В роботі Посмітюхи О.П. «Посмітюха О. П. Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів : Кандидатська дисертація, 05.05.04, Машини для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт. м. Дніпро, 2023. 201 с.» описано процес визначення сили лобового опору робочими наконечниками [40]. На основі описаного дослідимо вплив вологи на переущільнені ґрунти.

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 [34, 41-44].

$$c_k = 0,1\omega, \text{ або } c_k = 0,07...0,09(\omega_T - 10). \quad (2.6)$$

Компресійний модуль (E_{zp}) визначається за результатами компресійних випробувань зразків ґрунту в лабораторії, за формулою [14, 34]:

$$E_{zp} = \frac{(1 + \omega)\rho_{тв}}{c_k \cdot \rho_{пр}}, \quad (2.7)$$

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

$\rho_{пр}$ – щільність в природному стані.

Модуль загальної деформації (E) - по кривій навантаження [14, 34]

$$E = E_{zp} \cdot \beta_{\mu}, \quad (2.8)$$

					ДІПТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де β_μ – коефіцієнт, відсутності поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі.

$$\beta_\mu = 1 - \frac{2\mu^2}{1-\mu}, \quad (2.9)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона.

Модуль об'ємної деформації (E_V) характеризує всебічне ізотропне у всіх напрямках стиснення зразка ґрунту [34]

$$E_V = \frac{1+2\xi}{3} E_{zp}, \quad (2.10)$$

де ξ – коефіцієнт бічного тиску визначається за формулою Г. І. Покровського [34].

$$\xi = 1 - 0,74 \operatorname{tg} \varphi_0 - \frac{1,52c}{q_{кр}}, \quad (2.11)$$

де φ_0 – кут внутрішнього тертя ґрунту;

c – коефіцієнт зчеплення ґрунту;

$q_{кр}$ – критичний тиск ґрунту за несучою спроможністю в основі робочого органу, який руйнує ґрунт при спорудженні порожнин

$$q_{кр} = \left(\gamma_{zp} h_3 + \frac{c}{\operatorname{tg} \varphi_0} \right) \operatorname{tg}^4 \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right), \quad (2.12)$$

де γ_{zp} – питома сила тяжіння ґрунту;

h_3 – глибина прокладання ТПГ.

Коефіцієнти Пуассона та бічного тиску взаємопов'язані

$$\mu = \frac{\xi}{1 + \xi}. \quad (2.13)$$

Вибір значень фізико-механічних характеристик ґрунтів, за методикою [34, 40]: 1) - визначається природна вологість; 2) - число пластичності; 3) - межа текучості та розкочування; 4) - показник консистенції.

Тип ґрунту і його стан визначають за числом пластичності і показником консистенції, а параметри по таблицях ДБН коефіцієнт зчеплення c , кут внутрішнього тертя φ_0 та щільність ґрунту γ_{sp} [34, 44]. Запропонована спеціалістами НУВГП методика дозволяє визначити необхідні показники, якщо відома тільки природна вологість ґрунту та число пластичності.

Границі текучості і розкочування, показник консистенції та число пластичності визначаємо за кореляційними залежностями А. М. Зеленіна та С. Кравця [16, 34]:

$$\omega_n = \omega_T - \omega_p, \quad (2.14)$$

$$\omega_n = \omega - 8, \quad (2.15)$$

$$\omega_T = 14,8 + 1,2\omega_n = 1,2\omega + 5,2, \quad (2.16)$$

$$B'_k = \frac{\omega - \omega_p}{\omega_T - \omega_p} = \frac{0,8\omega - 13,2}{\omega - 8}. \quad (2.17)$$

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

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

$$C_{y\delta} = ae^{-b\omega}, \quad (2.18)$$

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 $b = 0,13$.

Коефіцієнти пористості e_x і e_0 можна виразити через змінну ρ_x щільність ґрунту [16, 34, 40]:

$$e_x = \frac{(1 + \omega)\rho_{ТВ}}{\rho_x} - 1, \quad e_0 = \frac{(1 + \omega)\rho_{ТВ}}{\rho_{пр}} - 1, \quad (2.19)$$

$$e_x = e_0 - c_k q_x. \quad (2.20)$$

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідні дані для найбільш ймовірних типів ґрунтів, приведені в табл. 2.2.

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.

Таблиця 2.2

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	-

2.4. Теоретичне визначення сили лобового та сумарного опору переміщення робочого органу в ґрунті

Визначення сили опору занурення конусного наконечника (рис. 2.1.) у ґрунт будемо базувати на основі уявлення про його фізико-механічні властивості та їх зміну в процесі проколу, що приведені [30] та формули (2.6) –(2.20).

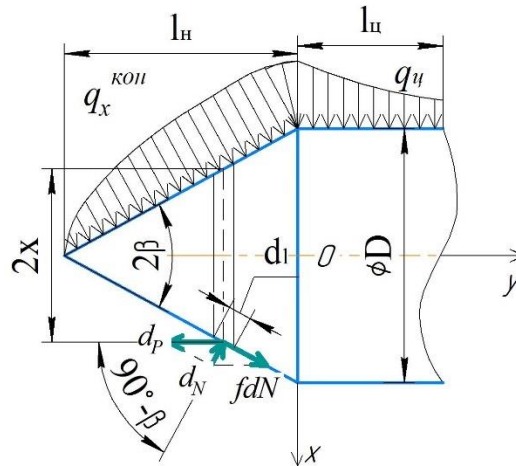


Рис. 2.1. Взаємодія конусного наконечника з ґрунтом

Тоді нормальний тиск ґрунту в кожному поперечному перерізі конуса дорівнює:

$$q_x = \frac{(1 + \omega) \rho_{ТВ}}{c_k} \left(\frac{1}{\rho_{Пр}} - \frac{1}{\rho_x} \right). \quad (2.21)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті конуса на основі закону рівності мас:

$$\frac{\pi D^2}{4} \rho_{Пр} = \frac{\pi}{4} (D^2 - 4x^2) \rho_x, \quad (2.22)$$

де D – діаметр конусного наконечника;

Звідки

$$\rho_x = \frac{\rho_{Пр}}{1 - \left(\frac{2x}{D} \right)^2}. \quad (2.23)$$

Знайдемо значення x із залежності (2.23), при якому ґрунт максимально ущільнюється до $\rho_{\text{ТВ}}$

$$x = \frac{D}{2} \sqrt{1 - \frac{\rho_{\text{ПР}}}{\rho_{\text{ТВ}}}}. \quad (2.24)$$

У подальшому ґрунт буде витіснятися за межі ґрунтового отвору. Для ідеального сипучого середовища зона максимального ущільнення ($\rho_{\text{ср}} = \rho_{\text{мс}}$) розповсюджується навколо осі проколини на відстань $D_{\rho_{\text{ТВ}}}$. Визначимо цю відстань із умови

$$\frac{\pi D^2}{4} \rho_{\text{ПР}} = \frac{\pi}{4} (D_{\rho_{\text{ТВ}}}^2 - D^2) \rho_{\text{ТВ}}. \quad (2.25)$$

Звідки

$$D_{\rho_{\text{ТВ}}} = D \sqrt{1 + \frac{\rho_{\text{ПР}}}{\rho_{\text{ТВ}}}}.$$

Для зв'язних ґрунтів зона руйнування ґрунту D_p розповсюджується на значно більшу відстань $D_p > D_{\rho_{\text{ТВ}}}$ [34].

Відповідно до залежності (2.19) закон зміни нормального тиску на бічну поверхню конусного наконечника запишеться у вигляді

$$q_x = E_{\text{ГР}} \left(\frac{2x}{D} \right)^2, \quad (2.26)$$

Елементарна площа конусного наконечника дорівнює

$$dF = 2\pi x \cdot \frac{dx}{\sin \beta}. \quad (2.27)$$

Тоді елементарна сила проколу визначиться наступним чином

$$\begin{aligned} dP_{\text{ПР}} &= dN \sin \beta + f \cdot dN \cos \beta = dN \sin \beta (1 + f \operatorname{ctg} \beta) = \\ &= q_x \cdot dF \sin \beta (1 + f \operatorname{ctg} \beta) = E_{\text{ГР}} \left(\frac{2x}{D} \right)^2 2\pi x \frac{dx}{\sin \beta} \times \\ &\times \sin \beta (1 + f \operatorname{ctg} \beta) = \frac{8\pi E_{\text{ГР}}}{D^2} (1 + f \operatorname{ctg} \beta) x^3 dx \end{aligned} \quad (2.28)$$

де f – коефіцієнт тертя ґрунту по конусу;

2β – кут при вершині конуса.

Тоді

$$P_{\text{пр}} = \frac{8\pi E_{\text{гр}}}{D^2} (1 + f \operatorname{ctg}\beta) \int_0^{D/2} x^3 dx = \frac{\pi E_{\text{гр}} D^2}{8} (1 + f \operatorname{ctg}\beta). \quad (2.29)$$

Лобовий питомий опір проколюванню дорівнює

$$P = \frac{\pi D^2}{4} \frac{E_{\text{гр}}}{2} (1 + f \operatorname{ctg}\beta). \quad (2.30)$$

Сила опору занурення клинового наконечника, визначаємо виходячи з форми наконечника робочого органу (рис. 2.2), що складається з клина в середній частині, що закінчується плоскою частиною, та двох півконусів, які закінчуються півциліндрами. Для спрощення процесу визначення сили вдавлювання РО в ґрунт розділимо все на елементарні фігури: клин та конус.

Для визначення сили занурення клинового наконечника в ґрунт необхідно знати закон зміни нормального тиску $q_x^{\text{кл}}$ на наконечник клиново-призматичної форми [34, 40] у залежності від деформації x та закон зміни його нормального тиску $q_x^{\text{кон}}$ (2.26) на конічний наконечник (рис. 2.2.) від x визначаємо аналогічно конусу (2.6) ... (2.26)

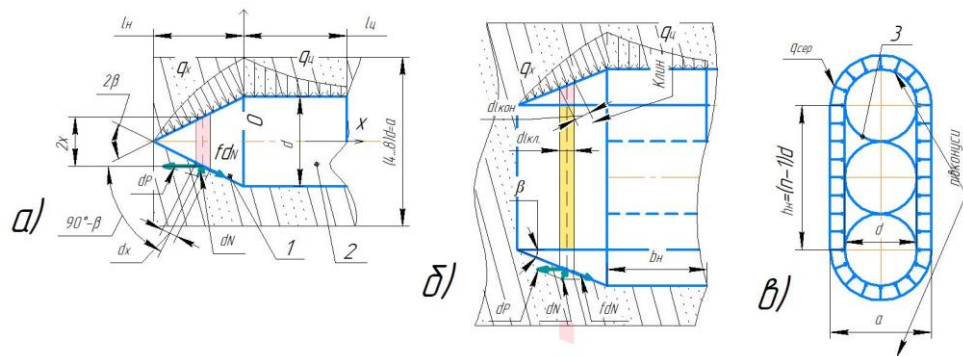


Рис. 2.2. Взаємодія клиново-призматичного наконечника з ґрунтом: а) – наконечник РО клиново-призматичний - вигляд збоку; б) – наконечник РО - вигляд зверху; в) – розташування футлярів в робочому органі при протягуванні: 1 – проколююча – клинова частина з півконусами; 2 – частина, що калібрує; 3 – футляри

Нормальний тиск ґрунту в кожному поперечному перерізі клинового наконечника:

$$q_x^{кл} = \frac{(1 + \omega)\rho_{тв}}{c_k} \left(\frac{1}{\rho_{np}} - \frac{1}{\rho_x} \right). \quad (2.31)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті клину

$$(n-1)d^2\rho_{np} = (n-1)d(d-2x)\rho_x^{кл}, \quad (2.32)$$

Звідки щільність ґрунту $\rho_x^{кл}$ по висоті клинової поверхні

$$\rho_x^{кл} = \frac{\rho_{np}}{1 - \frac{2x}{d}}. \quad (2.33)$$

де d – діаметр футляру;

n – кількість футлярів, які одночасно прокладаються;

x – деформація ґрунту лобовою поверхнею наконечника.

Тоді закон зміни нормального тиску ґрунту на лобову поверхню клину наконечника

$$q_x^{кл} = E_{зр} \frac{2x}{d}, \quad (2.34)$$

Визначимо закон зміни щільності ґрунту по висоті конуса (2.22)-(2.23) клинового наконечника

$$\rho_x^{кон} = \frac{\rho_{np}}{1 - (2x/d)^2}. \quad (2.35)$$

Знайдемо значення x із залежності (2.35), при якому ґрунт максимально ущільнюється до $\rho_{тв}$ для клинового наконечника

$$x^{кон} = \frac{d}{2} \sqrt{1 - \frac{\rho_{np}}{\rho_{тв}}}. \quad (2.36)$$

Для піщаних (сипучих) ґрунтів зона максимального ущільнення розповсюджується навколо осі ТПГ ($\rho_{zp} = \rho_{mv}$) на відстань $d_{\rho_{mv}}^{кон}$, для клинового наконечника [34, 40]

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_{np} = \frac{\pi}{4} \left(\left(d_{\rho_{mv}}^{кон} \right)^2 - d^2 \right) \rho_{mv}. \quad (2.37)$$

Звідки

$$d_{\rho_{mv}}^{кон} = d \sqrt{1 + \frac{\rho_{np}}{\rho_{mv}}}. \quad (2.38)$$

Тоді закон зміни нормального тиску на бічну поверхню конусної частини клинового наконечника запишеться у вигляді

$$q_x^{кон} = E_{zp} \left(\frac{2x}{d} \right)^2. \quad (2.39)$$

Лобовий опір занурення клинового наконечника шириною $h_{кл} = (n-1)d$ та висотою d (розмір робочого органу), в роботі О.П. Посмітюхи [40].

$$P_{кл.}^{лоб.} = P_{кл.} + P_{кон.}. \quad (2.40)$$

Опір клину:

$$dP_{кл.} = 2q_x^{кл} \partial F \sin \beta (1 + f \cdot ctg \beta), \quad (2.41)$$

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

Тоді

$$\partial P_{кл.} = E_{zp} \frac{4x}{d} \partial h \frac{\partial x}{\sin \beta} \sin \beta (1 + fctg \beta), \quad (2.42)$$

$$P_{кл.} = E_{zp} \frac{4h_{кл}}{d} (1 + f \cdot ctg \beta) \int_0^{d/2} x \partial x = \frac{d \cdot h_{кл}}{2} E_{zp} (1 + f \cdot ctg \beta). \quad (2.43)$$

Підставивши параметри (d , n , β), отримаємо:

$$P_{кл.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{zp} (1 + fctg \beta). \quad (2.44)$$

Опір проколу конусних частин (2.30), [40]

$$P_{пр.кон.} = \frac{\pi d^2}{8} E_{zp} (1 + f \cdot ctg\beta). \quad (2.45)$$

Остаточно опір занурення клиново-призматичного наконечника для n – футлярів, що прокладаються одночасно

$$P_{пр.кл.}^{лоб.} = \frac{(n-1)d^2}{2} E_{zp} (1 + f \cdot ctg\beta) + \frac{\pi}{8} d^2 E_{zp} (1 + f \cdot ctg\beta), \quad (2.46)$$

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

Визначимо силу тертя на циліндричній поверхні РО, на першому етапі відбувається заглиблення конічної частини робочого наконечника до його основи, що переходить в циліндричну 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 [41-44]

$$q_{\psi} = q_{\psi}^{\max} \cdot e^{-\frac{E_V t_{\psi}}{k_g}}, \quad (2.47)$$

де q_{ψ}^{\max} – максимальний питомий тиск ґрунту на формуючу – циліндричну частину РО наконечника;

k_g – коефіцієнт динамічної в'язкості ґрунту;

t_{ψ} – час контакту з ґрунтом циліндричної частини РО наконечника

($t_{\psi} = \frac{y}{v}$);

v – швидкість пересування наконечника.

$$q_{\psi}^{\max} = \frac{D_p}{D} \sigma_1, \quad (2.48)$$

де D_p – діаметр пружно-пластичної зони (зони руйнування);

σ_1 – напруження на межі пружної і пластичної зон визначили Кравець С. В. і Кованько В. В. [34]

$$\sigma_1 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} = \left| \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A} \right|, \quad (2.49)$$

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

В момент часу $t=0$ в основі конуса наконечника діє максимальний контактний тиск (2.21). Якщо $t > 0$, то при $E_V \gg k_g$ [66], тиск на циліндричній частині наконечника на довжині 10...20 см зменшується, за даними робіт Д. Н. Єшуткіна [13] 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, $q_y^{sep} = \frac{D_p}{2D} \sigma_1$ – 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

$$F_{тр.кон.} = 0,1\pi\lambda f D \sigma_1 + \pi f D (l_y - 0,2) q_z, \quad (2.50)$$

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

пластичних деформацій до діаметра конусного наконечника РО [34].

Тоді сумарний опір заглибленню конічного наконечника дорівнює силі лобового опору та силі тертя РО об ґрунт.

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

$$+ 0,1\pi \left[\frac{\left(\gamma_{zp} h + \frac{c}{tg\varphi_0} \right) tg^4 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right)}{\sigma_1} \right] fD\sigma_1 + \pi fD(l_{\psi} - 0,2)q_3. \quad (2.51)$$

Середній тиск ґрунту на бокові стінки і краї клинового наконечника, [30, 34, 40].

$$q_{сер} = 2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h. \quad (2.52)$$

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

Довжина периметра корпусу наконечника дорівнює

$$L_{пер} = 2(n-1)d + \pi d = d(\pi + 2n - 2). \quad (2.53)$$

Опір від сил тертя визначається через площу бокової поверхні наконечника та середній тиск дорівнює (рис. 2.2):

$$F_{тр.} = [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.54)$$

де b_n – довжина бокової поверхні наконечника.

Тоді сумарний опір занурення клинового наконечника

$$P_{\Sigma\text{кл.}} = \frac{\pi + 4(n-1)}{8} d^2 E_{zp} (1 + fctg\beta) +$$

$$+ [\pi d + 2(n-1)d] b_n f \left[2c \cdot tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_0}{2} \right) + \frac{a_q}{2} h \right]. \quad (2.55)$$

3. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВОЛОГИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ СТАТИЧНОГО ПРОКОЛУ ОТВОРІВ У ПЕРЕУЩІЛЬНЕНИХ ГРУНТАХ

3.1. Визначення фізико механічних характеристик змодельованих ґрунтів лабораторними методами

Основними параметрами механічних властивостей ґрунтів, які зумовлюють несучу здатність основ і їх деформації, є міцнісні і деформаційні характеристики ґрунтів: кут внутрішнього тертя φ , питоме зчеплення c , модуль деформації ґрунтів E , межа міцності на одноосьовий стиск скельних ґрунтів R_0 , відносна деформація просідання e_{sl} відносна деформація набухання e_{sw} тощо.

Ці характеристики визначаються, як правило, безпосередніми випробуваннями ґрунтів в польових або лабораторних умовах з урахуванням і можливої зміни вологості ґрунту в процесі будівництва та експлуатації споруд.

Нормативні і розрахункові значення характеристик ґрунтів встановлюються на основі статистичної обробки результатів дослідів за методиками, наведеними в державному стандарті [14, 44].

Основні показники, які характеризують стисливість ґрунтів і які найчастіше використовуються для визначення їх деформацій, є коефіцієнт стисливості ґрунту m_0 , модуль деформації E і структурна міцність ґрунту P_{str} .

Ці показники визначають лабораторними методами. В лабораторних умовах їх визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійних приладах в умовах одноосьового статичного ступеневого навантаження без можливості поперечного розширення (зразок розміщений в металевому кільці) (рис.3.1).

Для випробувань використовують зразки ґрунту непорушеної будови природної вологості чи водонасичені, або зразки порушеної будови з заданими значеннями щільності і вологості.

Модуль деформації, визначений в лабораторних умовах на компресійному приладі, відрізняється від визначеного в польових умовах, а тому надалі ми його називатимемо компресійним модулем деформації і позначатимемо E_k . Не слід також плутати цю характеристику стисливості ґрунту з модулем пружності, тому що на відміну від останнього, модуль деформації враховує як пружні, так і залишкові деформації ґрунту

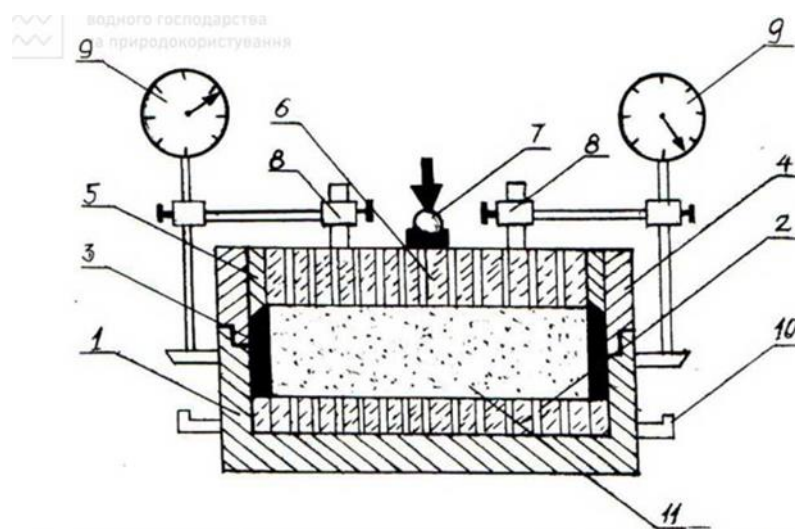


Рис. 3.1. Схематичний розріз компресійного приладу (одеметра):
 1 – нижня обойма; 2 – перфорований диск; 3 – ґрунтовідбірне кільце;
 4 – верхня обойма; 5 – направляюче кільце; 6 – перфорований штамп;
 7 – сталева кулька; 8 – тримач індикатора; 9 – індикатор; 10 – штуцер; 11 – зразок ґрунту

Щільність ґрунту ρ . Для цього зважують ґрунтовідбірне кільце з компресійного приладу (маса m_2). Вирізують з моноліту кільцем ґрунт непорушеної структури і природної вологості, або готують зразок порушеної будови з заданими значеннями щільності і вологості. Зважують кільце з ґрунтом (маса m_3). Визначають щільність ґрунту за формулою

$$\rho = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (3.1)$$

де V – об'єм кільця.

Визначають вологість ґрунту ω . Для цього з моноліту поряд з місцем вирізання зразка відбирають у заздалегідь зважені бюкси (маса m_2) 15-20 г вологого ґрунту і зважують їх (маса m_3). Висушують ґрунт до постійної маси в сушильній шафі при температурі $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$, охолоджують бюкси з ґрунтом в ексикаторі з CaCl_2 , знову зважують (маса m_4). Визначають вологість за формулою:

$$\omega = \frac{m_3 - m_4}{m_4 - m_2}, \quad (3.2)$$

Визначають щільність частинок ґрунту ρ_s .

Вираховують коефіцієнт пористості зразка ґрунту за формулою

$$e_0 = \frac{\rho_s}{\rho} (1 + \omega) - 1. \quad (3.3)$$

Перевірка впливу вологості на фізико-механічні властивості ґрунту проведені на базі лабораторії ТОВ «ДНІПРОГЕОАЛЬЯНС» та проведені для двох розповсюджених в Україні ґрунтів – супісків та суглинків, а також для лабораторного ґрунту – пісок лабораторний, що знаходиться в лабораторії кафедри прикладної механіки та матеріалознавства. Випробування проводились відповідно до діючих нормативних документів [46-48]: «ДСТУ Б В.2.1-17-2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей», «ДСТУ Б В.2.1-4-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості», «ДСТУ Б В.2.1-22-2009 Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання».

Для перевірки табличних значень фізико механічних характеристик ґрунтів та підтвердження практичними дослідженнями теоретично отриманих значень компресійних модулів деформації були взяті проби та лабораторно

					ДІПТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досліджені: 1) – суглинок жовто-бурий; 2) – супісок світло-сірий пілуватий; 3) – пісок «лабораторний». Результати проведення випробувань занесені в таблиці 3.2-3.6,

Таблиця 3.2

Результати проведення випробувань ґрунтів

Номер проби	ПЕ	Найменування і номер виробки	Глибина, м	Опис проби ґрунту										
1		Свердловина 1	3,0	Суглинок жовто-бурий										
2		Свердловина 2	2,8	Супісок світло-сірий пілуватий										
3		Свердловина 1	0,7	Пісок «лабораторний»										
Визначення фізичних характеристик ґрунту														
Вологість, д. од.				Щільність, г/см ³				Пористість, %		Коефіцієнт пористості, д. од.	Ступінь водонасичення, д. од.	Число пластичності, д. од.	Показник текучості, д. од.	Показник текучості водонасичення, д. од.
природна	водонасичення	на границі текучості	на границі розкошування	стинок ґрунту	ґрунту	сухого ґрунту	водонасиченого ґрунту							
0,13	-	0,33	0,20	2,70							0,13	-0,54		
0,1		0,25	0,20	2,66							0,05	-2,00		
0,063		0,13	0,14	2,68							0,03	-2,10		

Таблиця 3.3

Результати проведення випробувань - суглинок жовто-бурий

Визначення характеристик міцності і деформованості													
Компресія, просідання						Зріз				Кут природного відкосу, град.		Гранулометричний склад	
Тиск, МПа	Відносне просідання, д. од.	Природна гілка		Замоче на гілка		Навантаження		Кут внутрішнього тертя, град	Питома зчеплення, кПа	Природний	Водонасичений	Діаметр, мм	%
		Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	норм. МПа	дотич. МПа						
0,025			7,10			0,10	0,070	32,7	9,4			>2.000	
0,050	0,000	0,31		0,00		0,20	0,139					2-0.5	
0,100	0,000	0,55		0,00		0,30	0,260					0.5-0.25	
0,150	0,000	0,66		0,00								0.25-0.1	
0,200	0,000	0,84		0,00								0.1-0.05	
0,250	0,000	0,90		0,00								0.05-0.01	
0,300	0,000	0,98		0,00								0.01-0.005	
0,400													
0,500													
Замочування	0,000	0,00											

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

ДІТ. 630000. 309. КРПЗ

Арк.

44

Таблиця 3.4

Результати проведення випробувань - супісок світло-сірий пилуватий

Визначення характеристик міцності і деформованості													
Компресія, просідання						Зріз				Кут природного відкосу, град.		Гранулометричний склад	
Тиск, МПа	Відносне просідання, д. од.	Природна гілка		Замочена гілка		Навантаження		Кут внутрішнього тертя, град	Питоме зчеплення, кПа	Природний	Водонасичений	Діаметр, мм	%
		Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	норм. МПа	дотич. МПа						
0,025			30,06			0,10	0,066	31,0	8,8			>2.000	
0,050	0,000	0,04		0,00		0,20	0,134					2-0.5	
0,100	0,000	0,07		0,00		0,30	0,187					0.5-0.25	
0,150	0,000	0,09		0,00								0.25-0.1	
0,200	0,000	0,11		0,00								0.1-0.05	
0,250	0,000	0,13		0,00								0.05-0.01	
0,300	0,000	0,15		0,00								0.01-0.005	
0,400													
0,500													
Замочування	0,000	0,00											

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

ДІТ. 630000. 309. КРПЗ

Арк.

45

Таблиця 3.5

Результати проведення випробувань - Пісок «лабораторний»

Визначення характеристик міцності і деформованості													
Компресія, просідання						Зріз				Кут природного відкосу, град.	Гранулометричний склад		
Тиск, МПа	Відносне просідання, д. од.	Природна гілка		Замочена гілка		Навантаження		Кут внутрішнього тертя, град	Питоме зчеплення, кПа	Природний	Водонасичений	Діаметр, мм	%
		Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	Абсолютна деформація, мм	Модуль деформації	норм. МПа	дотич. МПа						
0,025			36,16			0,10	0,070	34,9	0			>2.000	
0,050	0,000	0,11		0,00		0,20	0,139					2-0.5	
0,100	0,000	0,19		0,00		0,30	0,210					0.5-0.25	
0,150	0,000	0,26		0,00								0.25-0.1	
0,200	0,000	0,33		0,00								0.1-0.05	
0,250	0,000	0,40		0,00								0.05-0.01	
0,300	0,000	0,49		0,00								0.01-0.005	
0,400													
0,500													
Замочування	0,000	0,00											

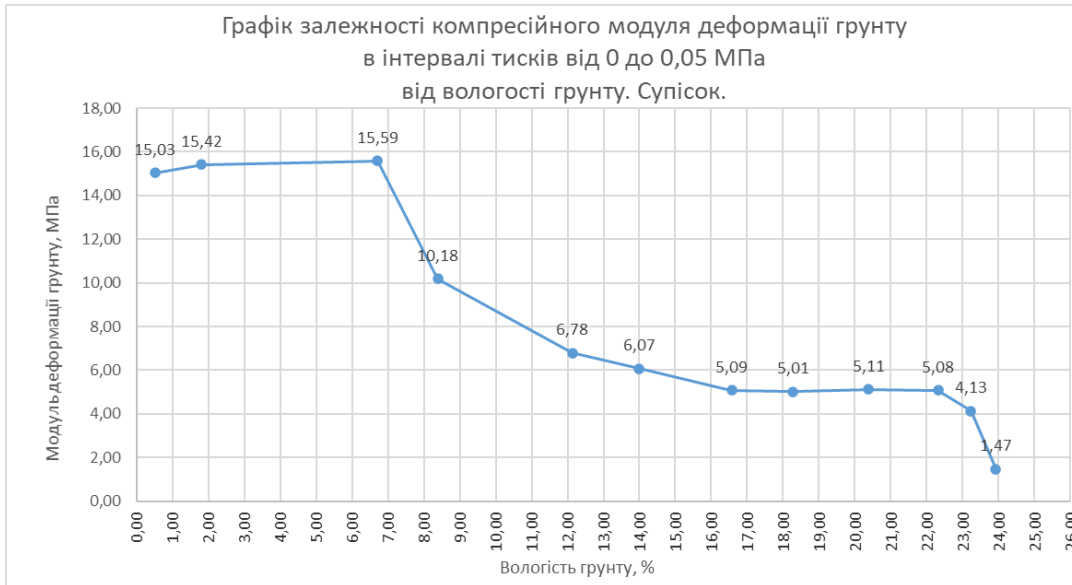
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДІТ. 630000. 309. КРПЗ

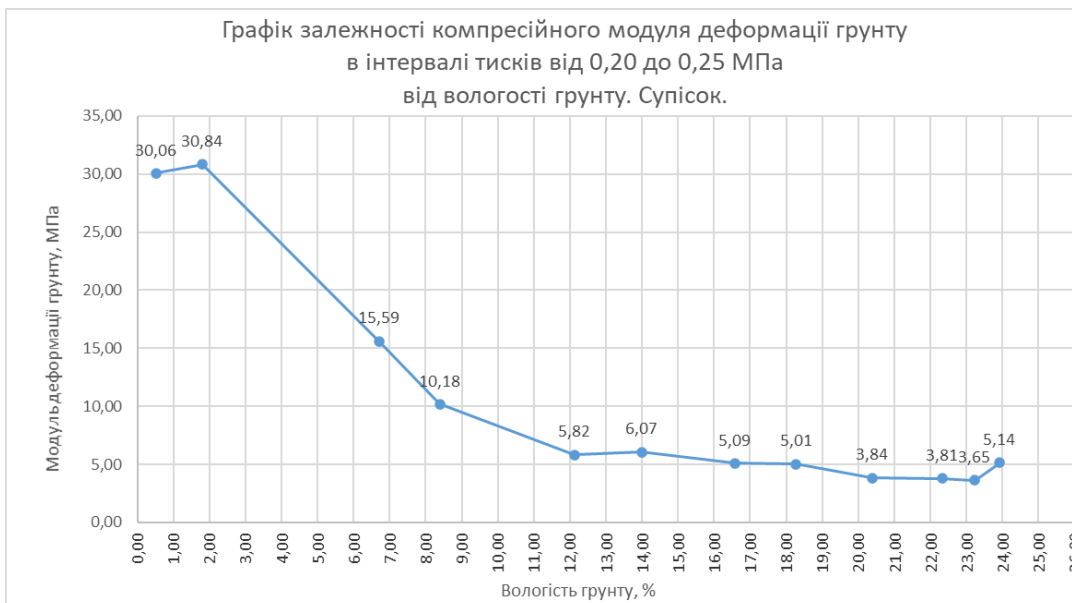
Арк.

46

За отриманими даними та аналітичними викладками формули (2,7)-(2,9) та (2.14)-(2.20) побудуємо графіки залежності E_{2p} від вологості ω ґрунту при стисканні його в лабораторному приладі (рис. 3.1). Приведемо значення для інтервалів тисків початкових – від 0 до 0,05 МПа, та максимального значення тиску 0,25-0,3 МПа (графіки 3.1-3.6).



Граф. 3.1. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для суглинку жовто-бурого в інтервалі тисків від 0,0 до 0,05 МПа



Граф. 3.2. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для суглинку жовто-бурого в інтервалі тисків від 0,20 до 0,25 МПа

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Граф. 3.3. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для супіску світло-сірого пилуватого в інтервалі тисків від 0,0 до 0,05 МПа



Граф. 3.4. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для супіску світло-сірого пилуватого в інтервалі тисків від 0,2 до 0,25 МПа

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Граф. 3.5. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для піску «лабораторного» в інтервалі тисків від 0,0 до 0,05 МПа.

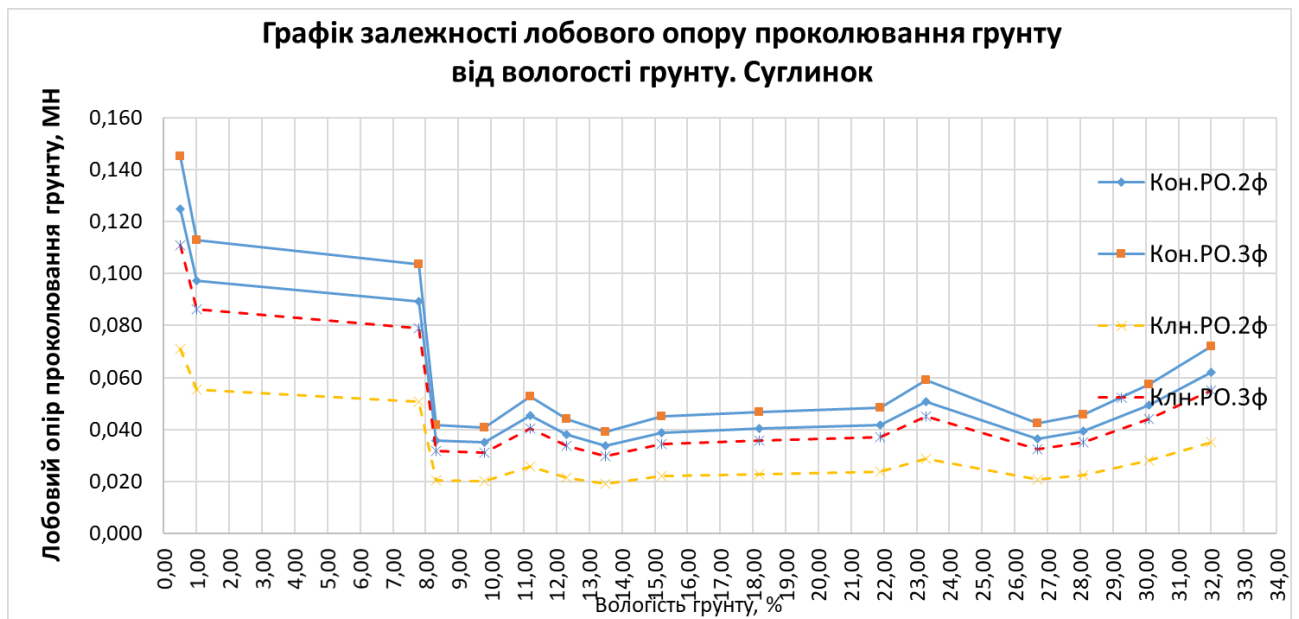


Граф. 3.6. Графік залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості для піску «лабораторного» в інтервалі тисків від 0,0 до 0,05 МПа.

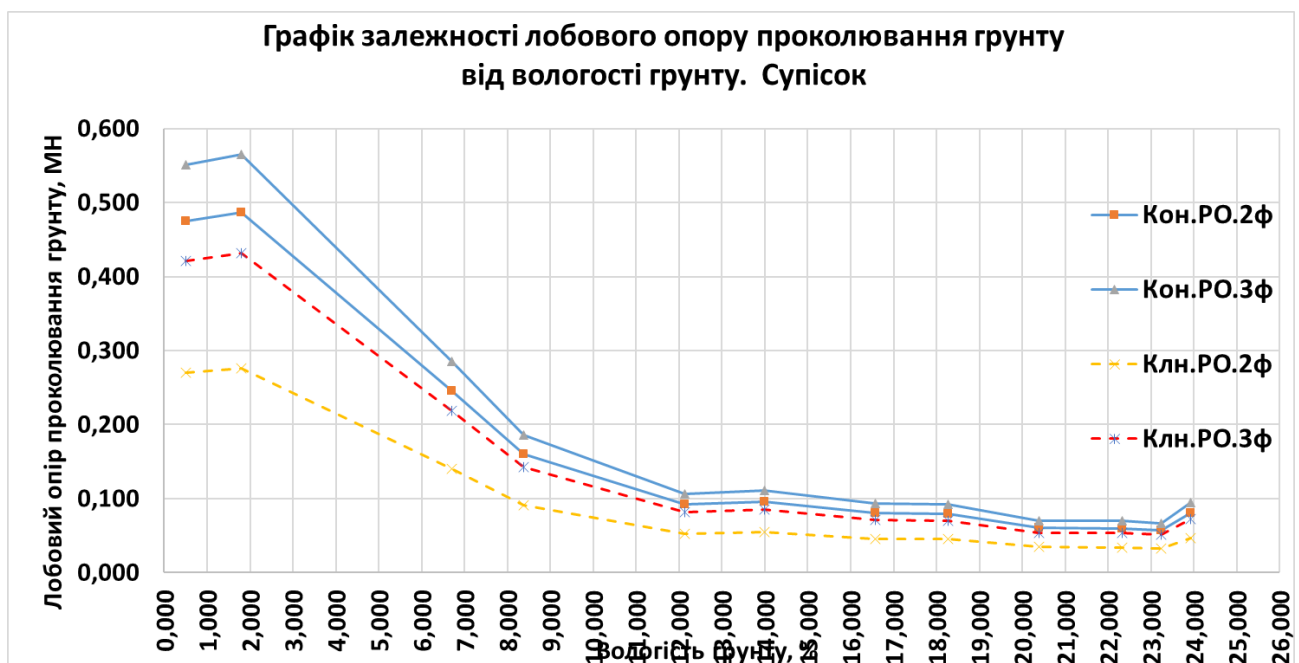
За отриманими результатами дослідження ґрунту в приладах підставивши значення в формулу лобового опору конуса (2.30) та клинового

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

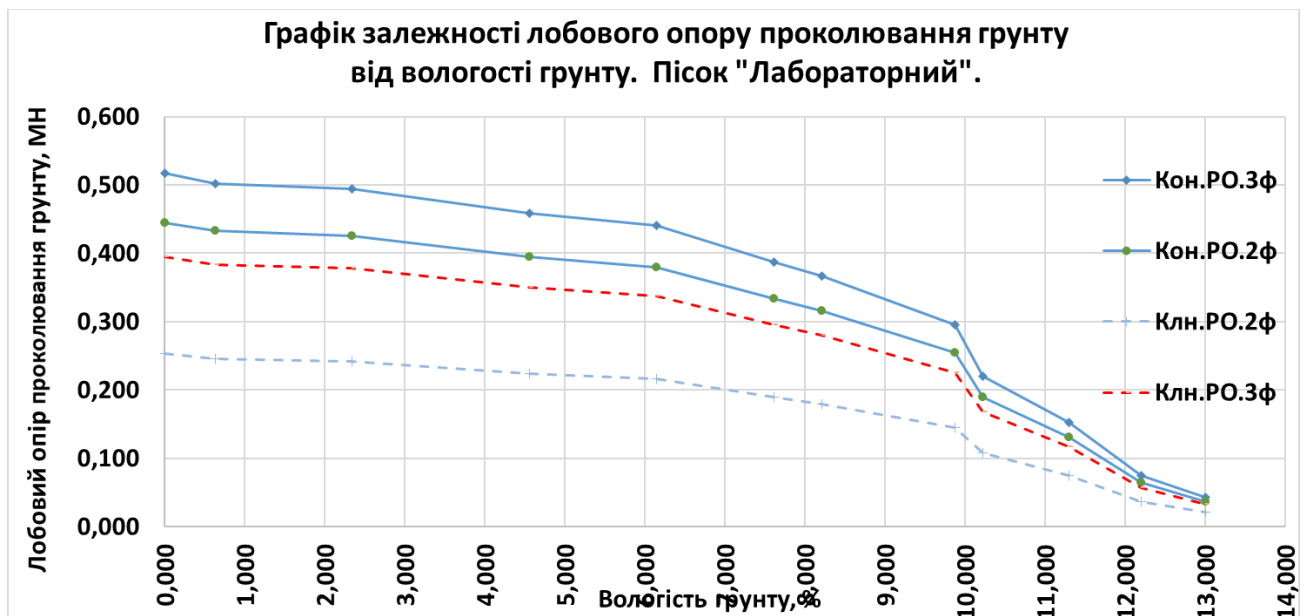
робочого органів (2.46) отримаємо значення сили та будуємо графіки в залежності від вологості та типу ґрунту при діапазоні тисків 0,2-0,25 МПа, графіки 3.7-3.12.



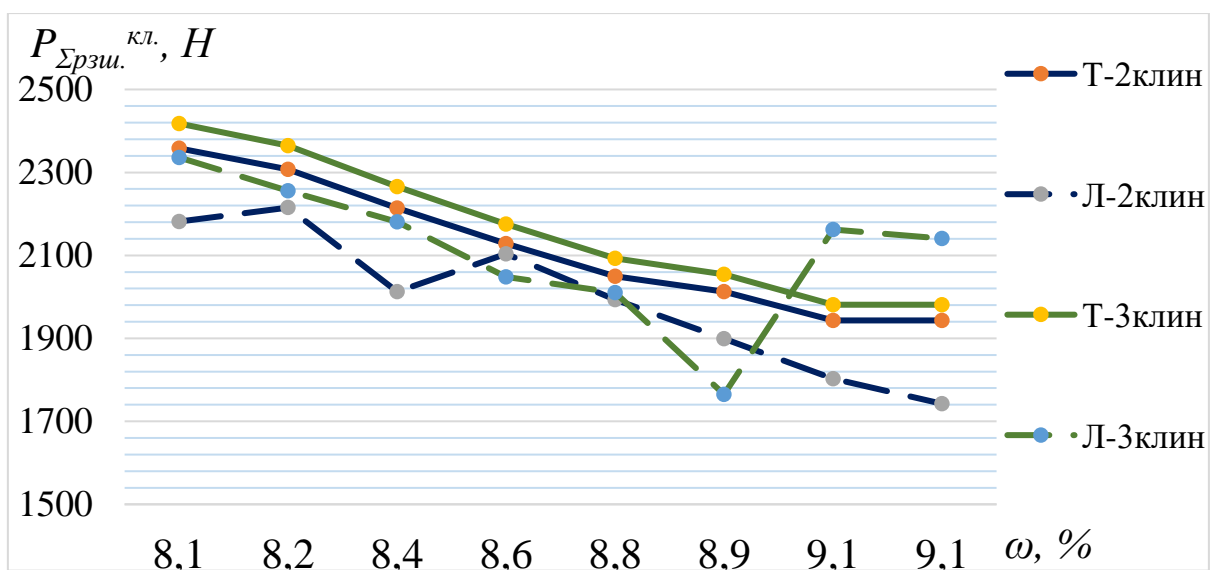
Граф. 3.7. Графік залежності лобового опору проколюванню ґрунту клиновим та конічним робочим органом - суглинку жовто-бурого.



Граф. 3.8. Графік залежності лобового опору проколюванню ґрунту клиновим та конічним робочим органом - супіску світло-сірого пілуватого.

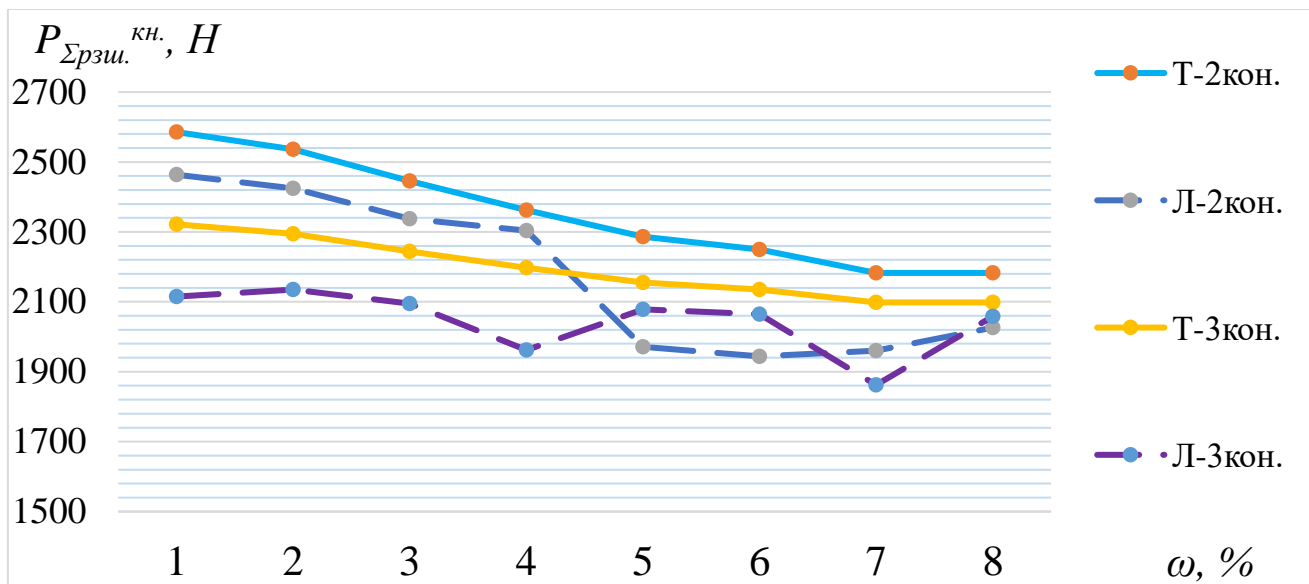


Граф. 3.9. Графік залежності лобового опору проколюванню ґрунту клиновим та конічним робочим органом - піску «лабораторного».

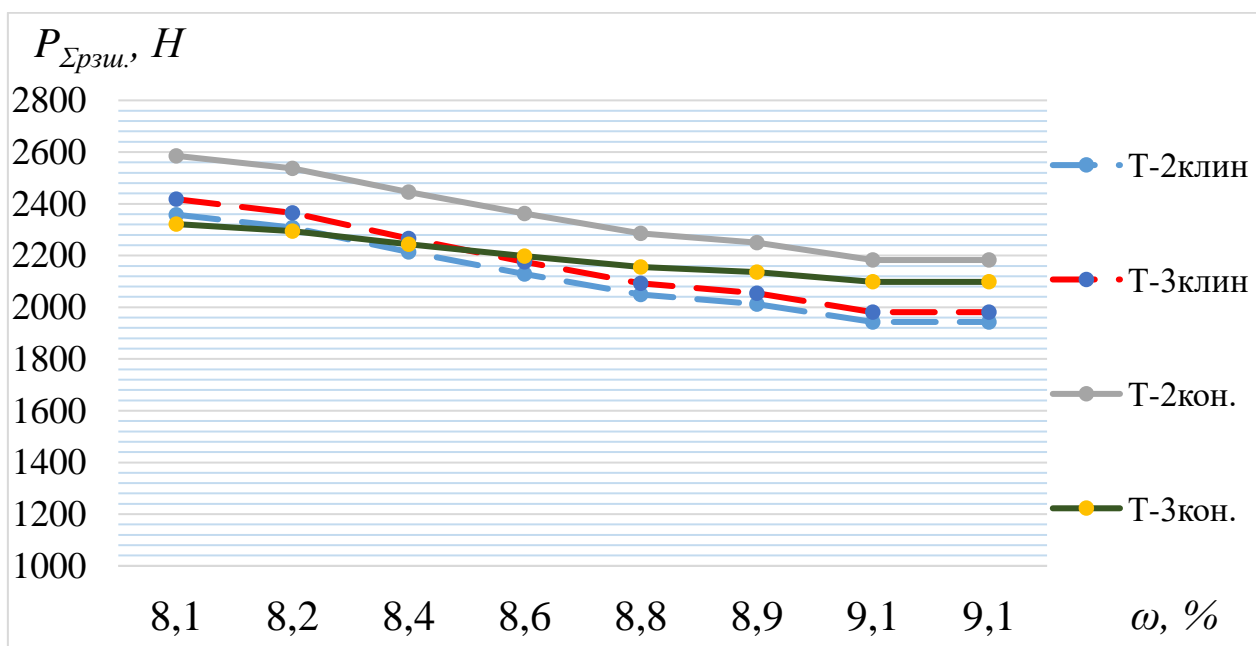


Граф. 3.10. Графік залежності сумарного опору розширення отворів клиновим робочим органом від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; для 2 та 3 футлярів, що протягуються одночасно

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Граф. 3.11. Графік залежності сумарного опору розширення отворів конічним робочим органом від вологості ґрунту та кількості комунікацій, що прокладаються на глибині 0,7 м при поступовому розширенні: Т – теоретичне значення; Л – сила протягування моделі РО в лабораторному ґрунті; для 2 та 3 футлярів, що протягуються одночасно



Граф. 3.12. – Графік порівняння сумарного опору проколювання при розширенні на глибині 0,7 м клиновим та конічним наконечниками, від вологості ґрунту

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1) Проаналізувавши значення, в таблицях 3.2...3.5, отримані за результатами досліджень двох найбільш розповсюджених (суглинків та супісків) ґрунтів Дніпропетровщини та зразка лабораторного – піщаного ґрунту, за відомими залежностями приведеними в ДБН отримали графіки впливу вологості ґрунту на компресійний модуль, коефіцієнт тертя та щеплення. Проаналізувавши графіки бачимо, що для суглинків та супісків модуль значно зменшується при збільшенні вологи від 0% на 3-5% і наближається до нуля при збільшенні вологи до межі розкочування. При досягненні природного вмісту вологи його компресійний модуль становить для супіску світло-сірого пілуватого при $\omega = 10...14\%$ $E_{zp} = 7,3...6,07$ МПа, для суглинку жовто-бурого при $\omega = 17...20\%$ $E_{zp} = 2,0...1,81$ МПа, для піску «лабораторного» при $\omega = 6...12\%$ $E_{zp} = 16,2...11,3$ МПа.

2) Спираючись на графіки залежності компресійного модуля деформації ґрунту від вологості та теоретичних залежностей лобового опору статичного проколювання отворів у ґрунті для прокладання комунікацій конічними та клиновими робочими органами отримали графіки залежності лобового опору проколюванню від вологості ґрунту та кількості футлярів, що прокладаються одночасно. З графіків видно суттєве зменшення значення компресійного модуля при збільшенні вологості вище природної від 30% до 2,5 разів, що в свою чергу знижує лобовий опір від 30% до 2 разів.

3) Побудували графіки залежності сумарного опору розширення отворів конічними та клиновими робочими органами для лабораторного піску, а також графік порівняння сили проколювання конічними та клиновими робочими органами в умовах лабораторії.

4) Можна рекомендувати при суттєвому збільшенні сили статичного проколювання отворів збільшити вологість стінок отвору шляхом

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

замочування на невелику глибину, що призведе до збільшення вологості та зменшення значення компресійного модуля.

					ДІПТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Деркач, І. (2006). Міські інженерні мережі. Навч. Посібник. Харків.
- [2] Najafi, M. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods / Mohammad Najafi. – [s. 1.], 2012. – 608 p.
- [3] Преимущества использования бестраншейных технологий. (2008). Ассоциация «Современные Бестраншейные Технологии». Режим доступа: https://www.no-dig.odessa.ua/?page_id=226 (дата звернення: 07.07.2021).
- [4] ТОВ "Житлоспецбудексплуатація" - Будівництво інженерних мереж. ТОВ "Житлоспецбудексплуатація" - конт. URL: <http://zhsbe.ucoz.ru/index/0-5> (дата звернення: 17.01.2024)
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Antonets Yu., & Obozny A. L. (2020). XLPE-INSULATED POWER CABLES for voltages from 6 kV up to 30 kV. PJSC Factory "Yuzhcable". Kharkiv
- [8] ПУЕ. Правила улаштування електроустановок: довідник. м. Харків: "Форт", 2017. 760 с.
- [9] Ditch Witch - Directional Drills, Trenchers, Vacs, & Skid Steers - Ditch Witch. Ditch Witch. URL: <https://www.ditchwitch.com/> (date of access: 03.01.2024).
- [10] Vermeer Corporation - Industrial & Agricultural Equipment. Vermeer Corporation - Industrial & Agricultural Equipment. URL: <https://www.vermeer.com/em> (date of access: 03.01.2024).

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

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

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

[13] 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.

[14] Вазетдинов А.С. Прокладка горизонтальных скважин под кабелепроводы вибропроколом и гидромеханизированным способом. М.: Госстройиздат 1961. 97 с.

[15] Кравець С.В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій. Рівне: Видавництво РДТУ, 1999. 277 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] Закон України. «Про охорону навколишнього природного середовища». Режим доступу <https://zakon.rada.gov.ua/go/1264-12> (дата звернення: 20.08.2023).

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

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

[20] Установка для спрямованого проколу ґрунту МК-ТБ-08, прокол ґрунту, керований прокол ґрунту. ООО "МК "Тясминбурмаш", бурильно-кранові машини, бурильнокранова установка. URL: <http://mktb.com.ua/ua/production/ustanovki-dlya-prokola-grunta/ustanovka-dlya-prokola-grunta-mk-tb-08.html> (дата звернення: 04.01.2024).

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[21] Установка спрямованого проколу ґрунту МП-250. ТОВ "НВП "ГАЗТЕХНІКА ЛТД" Інтернет-магазин Gaztechnik, Харків (Україна). URL: <https://67425-ua.all.biz/uk/ustanovka-spryamovanogo-prokolu-runtu-mp-250-g613301> (дата звернення: 04.01.2024).

[22] Малогабаритна бурова установка до 75м. ПП «Піка С.В.» Київ. URL: <http://burovaia.com.ua/> (дата звернення: 04.01.2024)

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

[24] 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).

[25] Bohrtec manufactures machines for guided auger boring. Bohrtec. URL: <https://www.bohrtec.com/en/> (date of access: 17.01.2024).

[26] Perforator PBA 200 установка горизонтального/шнекового бурення ГШБ | Perforator GmbH. Установки ГНБ серии PBA от компании Perforator GmbH. URL: <https://perforator.su/burovie-ustanovki/tyazhelogo-klassa/pba-200.html> (дата звернення: 17.01.2024).

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

[28] 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).

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

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

[30] Наукові основи та практика створення мінімально-енергоємних робочих органів для формування комунікаційних порожнин в ґрунті.: монографія / С. Кравець та ін. м. Харків: ХНАДУ, 2021. 304 с.
<https://crust.ust.edu.ua/items/fd22b631-7b3b-44fe-8368-4556784164e7>

[31] Якименко О. В. Земляні роботи: навч. посіб. Харків : Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекет., 2018. 158 с.

[32] Кравец С.В., Руднев В.К., Каслин Н.Д., Супонев В.Н. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций: учебное пособие. Харьков: ООО «Фавор», 2008. 256 с.

[33] Супонев В.М. Створення обладнання для розробки горизонтальних свердловин комбінованими способами статичної дії: монографія. Харків, ХНАДУ, 2018. 196 с.

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

[35] Хачатурян, С. (1983). Взаимодействие с грунтом и выбор параметров прокалывающего рабочего органа с газовой смазкой. Дис. канд. тех. наук. Харків.

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

[37] Вазетдинов А.С. Опыт определения усилий внедрения и местоположения в грунте головного снаряда при проколе / А.С.Вазетдинов // Водоснабжение и санитарная техника. Киев.: 1958. -№1.

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

[39] Посмітюха, О. & Главацький, К. (2012). Обґрунтування поперечного перерізу бестраншейно утворених технологічних порожнин у ґрунті для комунікацій. Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та: сб. науч. тр.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(57), 195-202. <https://crust.ust.edu.ua/items/5fd71740-c095-4d7b-b91c-8772cd7ecef3>.

[40] Посмітюха О. П. Створення та обґрунтування параметрів робочого органу для сумісного безтраншейного прокладання лінійно-протяжних об'єктів : Кандидатська дисертація, 05.05.04, Машины для земляних, дорожніх і лісотехнічних робіт. м. Дніпро, 2023. 201 с. URL: https://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/Spec_VR__d.64.059.05/2023/Posmitiukha/dis_Posmityukha_2023_v.pdf (дата звернення: 18.01.2024).

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

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

[43] 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.

[44] ДСТУ-Н Б В.2.1-28:2013. Настанова щодо проведення земляних робіт, улаштування основ та спорудження фундаментів. Режим доступу http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54094 (дата звернення: 20.08.2022).

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

[46] ДСТУ Б В.2.1-17-2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Чинний від 2009-12-22. Вид. офіц. м. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 35 с.

[47] ДСТУ Б В.2.1-4-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. Чинний від 1996-11-01. Вид. офіц. м. Київ : Держ. ком. буд-ва, архітектури та житл. політики України, 1996. 57 с.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[48] ДСТУ Б В.2.1-22-2009. Ґрунти. Метод лабораторного визначення властивостей просідання. Чинний від 2009-12-22. Вид. офіц. м. Київ : Мінреґіонбуд України, 2010. 17 с.

					ДІТ. 630000. 309. КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

