

Міністерство освіти і науки України
Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу
Кафедра буріння та геології
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Освітня програма «Буріння нафтових і газових свердловин»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри буріння та геології

Винников Ю.Л.

«12» 01 12 2026 року

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему Особливості горизонтально направленої буріння для прокладання напірних газопроводів в складних інженерно-геологічних умовах

Пояснювальна записка

Керівник

к.т.н., доц., доцент

кафедри буріння та геології

Харченко М.О.

посада, наук. ступінь, ПІБ

підпис, дата

Виконавець роботи

студент група 601-НБ

Барладян Олександр Аркадійович

студент, ПІБ

підпис, дата,

Консультант за 1 розділом

д.т.н., проф., Винников Ю.Л.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 2 розділом

к.т.н., доц., Матяш О.В.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Консультант за 3 розділом

к.т.н., доц., Харченко М.О.

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

Дата захисту

12.01.2026
Полтава, 2026

Національний університет
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут: Нафти і газу
Кафедра: Буріння та геології
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр
Спеціальність: 185 Нафтогазова інженерія та технології
Освітня програма: Буріння нафтових і газових свердловин

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри буріння та геології
Винников Ю.Л.

« 3 » 09 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Барладян Олександр Аркадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Особливості горизонтально направленої буріння для прокладання напірних газопроводів в складних інженерно-геологічних умовах

2. Керівник роботи доц. кафедри буріння та геології, доц., к.т.н. Харченко М.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навч. закладу від « 3 » 09 2025 року № 1015-ф.с

3. Строк подання студентом роботи до 3.01.2026р.

4. Вихідні дані до роботи

1. Нормативно-технічна література, періодичні видання, патенти на винаходи за темою роботи.

2. Проекти на влаштування свердловин (за необхідності).

3. Геологічні звіти за профілем роботи (за необхідності)

5. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація

Вступ

1. Аналітичний огляд літературних джерел та сучасного стану досліджуваної проблеми

2. Обґрунтування об'єкта дослідження, вихідних даних та методів розв'язання поставлених задач.

3. Дослідження, розрахунки та експериментальне обґрунтування прийнятих технічних рішень.

Загальні висновки по роботі

Список використаних джерел

Додатки (за необхідності)

6. Перелік графічного матеріалу

Презентація із основними результатами кваліфікаційної роботи

7. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Викшиш Ю. П., д.т.н., проф.		
2	Матякі О. В., к.т.н., доц.		
3	Харченко М. О., к.т.н., доц.		

8. Дата видачі завдання 3.09.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Аналіз літературних джерел та сучасного стану проблеми	13.10.2025 – 02.11.2025
2	Формування мети, задач, обґрунтування об'єкта і предмета дослідження	03.11.2025 – 16.11.2025
3	Виконання основної частини роботи (розрахунки / експерименти / аналіз)	17.11.2025 – 28.12.2025
4	Узагальнення результатів, формування висновків	29.12.2025 – 05.01.2026
5	Оформлення та узгодження кваліфікаційної роботи	06.01.2026 – 12.01.2026
6	Попередній захист кваліфікаційної роботи	13.01.2026 – 15.01.2026
7	Захист кваліфікаційної роботи	19.01.2026 – 23.01.2026

Студент

(підпис) Бармаден О.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) Харченко М.О.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	3
ABSTRACT.....	4
ТЕРМІНИ І АБРЕВІАТУРИ	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1. Обґрунтування оптимальної області застосування горизонтально- направленого буріння	9
1.2 Аналіз сучасного обладнання для горизонтально-направленого буріння і проведення робіт в горизонтальних свердловинах	12
1.4 Висновки до розділу 1. Мета та задачі дослідження.....	21
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ БУРІННЯ З ОЦІНЮВАННЯМ МОЖЛИВОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРОХОДКИ СКЕЛЬНИХ ПОРІД І ПОРІД ІЗ ВИСОКИМ ВІДСОТКОМ ГАЛЬКИ, ЩЕБЕНЮ, ВАЛУНІВ.....	23
2.1 Результати інженерно-геологічних досліджень на території безтраншейної прокладки напірного газопроводу.....	23
2.2. Умови буріння горизонтально-направленої свердловини	32
2.3. Аналіз обладнання для проходження ґрунтів із високим відсотком щебеню, гальки, валунів	33
2.4. Висновки до розділу 2	41
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЕКТУ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ДЮКЕРУ НАПІРНОГО ГАЗОПРОВОДУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОГО БУРІННЯ	44
3.1. Організація робіт щодо горизонтально-направленого буріння для безтраншейного прокладання дюкера напірного газопроводу	44
3.2. Аналіз протоколів невдалого пілотного буріння.....	55
3.3. Обґрунтування вибору бурової установки, бурового інструменту, режимів буріння та параметрів бурового розчину.....	57
3.4. Висновки до розділу 3.....	59
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТОК А. СКАН-КОПІЇ ПРОТОКОЛІВ ПІЛОТНОГО БУРІННЯ	70

АНОТАЦІЯ

Барладян О.А. Особливості горизонтально направленою буріння для прокладання напірних газопроводів в складних інженерно-геологічних умовах. Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 185 «Нафтогазова інженерія та технології» освітньо-професійної програми «Буріння нафтових і газових свердловин». – Полтава; Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – 2026.

У роботі розглянуто питання аналізу та оптимізації технологічних рішень при підборі бурового обладнання для горизонтально-направленою буріння (ГНБ) для безтраншейного прокладання дюкеру напірного газопроводу.

У першому розділі проаналізовано сучасний стан питання ГНБ. Розглянуто призначення та області застосування цієї технології, проведено аналіз бурової техніки й інструменту для ГНБ. Із цього аналізу сформульовано мету і задачі досліджень.

Розділ 2 присвячено аналізу інженерно-геологічних умов буріння з оцінюванням можливого обладнання для проходки скельних порід і порід із високим відсотком гальки, щебеню, валунів.

Розділ 3 присвячено практичному впровадженні розроблення робочого проекту безтраншейного прокладання дюкеру напірного газопроводу за технологією ГНБ.

В додатку А наведено скан-копії протоколів буріння пілотної свердловини.

Ключові слова: горизонтально-направлене буріння, напірний газовий трубопровід, безтраншейне прокладання, бурильна колона, буровий розчин, бурова установка, пілотна свердловина.

ABSTRACT

Barladian O.A. Features of Horizontal Directional Drilling for the Installation of High-Pressure Gas Pipelines in Complex Engineering-Geological Conditions. Master's qualification thesis in Specialty 185 "Oil and Gas Engineering and Technology", Educational and Professional Program "Drilling of Oil and Gas Wells". – Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic". – 2026.

The thesis addresses the analysis and optimization of technological solutions for selecting drilling equipment for horizontal directional drilling (HDD) used in the trenchless installation of a high-pressure gas pipeline river crossing (duker/siphon).

Chapter 1 analyzes the current state of HDD. The purpose and fields of application of this technology are considered, and drilling rigs and tools for HDD are reviewed. Based on this analysis, the aim and objectives of the study are formulated.

Chapter 2 is devoted to the analysis of engineering-geological drilling conditions and the assessment of possible equipment for drilling through rock and formations with a high content of gravel, crushed stone, and boulders.

Chapter 3 focuses on the practical implementation of developing a working design for trenchless installation of a high-pressure gas pipeline river crossing using HDD technology.

Appendix A contains scanned copies of the pilot borehole drilling logs.

Keywords: horizontal directional drilling, high-pressure gas pipeline, trenchless installation, drill string, drilling fluid, drilling rig, pilot borehole.

ТЕРМІНИ І АБРЕВІАТУРИ

Бентоніт (bentonite) – колоїдна глина, що складається в основному з мінералів групи монтморилоніту, має виражені сорбційні властивості та високу пластичність.

Бурова головка (піонер) (drill head) – передовий бур зі змінними насадками.

Бурова установка (drilling rig) – єдиний комплекс взаємопов'язаних механізмів і пристроїв, що забезпечують технологічний процес прокладання трубопроводу методом ГНБ. Бурова установка забезпечує: пересування; складання, обертання і подачу бурової колони; подачу бурового розчину; контроль і коригування напрямку буріння; протягування розширювачів і трубопроводу.

Горизонтальне направлене буріння (ГНБ) (horizontal directional drilling, HDD) – багатоетапна технологія безтраншейної прокладки підземних інженерних комунікацій за допомогою спеціалізованих мобільних бурових установок, що дозволяє вести керовану проходку по криволінійній траєкторії, розширювати свердловину, протягувати трубопровід.

Калібрування (pulling caliber) – перевірка готовності бурового каналу до протягування трубопроводу шляхом попереднього пропускання калібру – секції (елемента) основної труби максимального проектного діаметра.

Колона бурових штанг (бурова колона) (the drill rods) – одна або кілька бурових штанг, з'єднаних разом і використовуваних для передачі крутного моменту і тягового зусилля від опорної рами бурової установки до бурової головки, розширювача, протягнутого трубопроводу, а також перенесення бурового розчину до бурового інструменту.

Пілотна свердловина (pilot well) – направляюча свердловина, буріння якої здійснюється в першу чергу.

ВСТУП

Актуальність роботи. Напірні газопроводи залишаються критичним елементом енергосистеми: вони забезпечують безперервність постачання газу для комунальної, промислової та резервної генерації, опалення тощо. У цих умовах зростає потреба в технологіях прокладання і реконструкції трубопроводів, які мінімізують перерви в роботі мереж і ризики аварій – особливо на переходах через водні перешкоди, транспортні вузли та щільну забудову.

Горизонтально-направлене буріння (ГНБ, HDD) технологічно спирається на інструментарій і логіку керованого буріння (керування траєкторією, бурові розчини, гідравліка, контроль стійкості стінок свердловини, ризики прихоплення, ускладнення при розбурюванні і розширенні свердловини). Тому тема є природною для напрямку «буріння»: вона дозволяє переносити підходи нафтогазової інженерії (кероване буріння, ризик-менеджмент ускладнень, контроль бурового розчину) на прикладне завдання безтраншейного прокладання газопроводів.

Переваги ГНБ в умовах обмеженого поверхневого доступу та високої «ціни помилки». Для переходів під річками, дорогами, залізницею, міською забудовою або природоохоронними зонами траншейні методи часто мають неприйнятні екологічні, соціальні і логістичні наслідки. ГНБ належить до безтраншейних технологій і широко застосовується для прокладання ліній різного призначення, включно з газом і нафтопродуктами. Практична актуальність тут у тому, що якісно спроектований і виконаний перехід ГНБ зменшує вплив на поверхню та скорочує терміни робіт, але вимагає вищої інженерної дисципліни й точнішої геотехнічної прив'язки.

Реальні траси газопроводів часто проходять через неоднорідні ґрунтові товщі, водонасичені піски, валунно-галькові відклади, зони карсту/суфозії, слабкі ґрунти, схили або ділянки з високим рівнем ґрунтових вод. Для ГНБ це означає зростання ймовірності типових критичних подій: нестійкість стінок,

втрати циркуляції, «frac-out» (вихід розчину на поверхню), труднощі розширення, перевищення тягових зусиль під час протягування, відхилення траєкторії. Отже, саме «складні ІГ умови» роблять тему не просто прикладною, а науково й інженерно значущою: потрібні критерії придатності методу, розрахункові методики та практичні рекомендації під типи ґрунтів і перешкод.

Мета дослідження – розроблення рекомендацій для проходження похилих і горизонтальних ділянок пілотної свердловини при горизонтально-направленому бурінні для безтраншейного прокладання підземного газопроводу високого тиску за умов великого відсотку гальки, щебню і великих включень валунів.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз сучасних технологій та обладнання для горизонтально-направленого буріння.

2. Охарактеризувати інженерно-геологічні умови з високим вмістом гальки і щебню та наявністю валунів й визначити ключові ускладнення пілотного буріння.

3. Обґрунтувати вибір бурового інструмента для таких умов (тип бурової головки і породоруйнівного інструмента, компоновання бурильної колони, застосування розширювачів на наступних етапах) з урахуванням ризику контакту з валунами та вимог до керованості.

4. Розробити рекомендації щодо складу та параметрів бурового розчину для грубоуламкових ґрунтів та дій при втратах циркуляції.

Методи дослідження: методи механіки гірських порід та геомеханіки; опір матеріалів; аналіз інформаційних джерел; синтез; абстрагування; узагальнення; пояснення.

Об'єкт дослідження – процес горизонтально-направленого буріння при безтраншейному прокладанні підземного газопроводу високого тиску в складних інженерно-геологічних умовах.

Предмет дослідження – технологічні та інженерно-технічні рішення, що визначають ефективність і надійність проходження похилих і горизонтальних

ділянок пілотної свердловини при горизонтально-направленому бурінні у грубоуламкових ґрунтах з валунними включеннями.

Наукова новизна полягає у розвитку підходів до керованого проходження похилих і горизонтальних ділянок пілотної свердловини при горизонтально-направленому бурінні у грубоуламкових ґрунтах з валунними включеннями шляхом обґрунтування критеріїв вибору породоруйнівного інструмента і компоновки бурильної колони та режимів буріння для забезпечення керованості траєкторії.

Практична цінність – запропоновано рекомендації щодо коригування робочого проекту об'єкта будівництва «Реконструкція газопроводу-відводу до газорозподільчої станції «Чорногузи» на ділянці переходу через річку Черемош на межі Вижницького району Чернівецької області та Косівського району Івано-Франківської області» в частині безтраншейної прокладки дюкера газопроводу діаметром 219 мм на ділянці довжиною 670 м на переході через р. Черемош.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, 3 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 42 найменувань, 1 додатку.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО ПИТАННЯ. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Обґрунтування оптимальної області застосування горизонтально-направленого буріння

Розширення та модернізація газотранспортної інфраструктури, зокрема влаштування переходів магістральних і розподільчих газопроводів під руслами річок, потребує застосування вискоєфективних установок і технологій горизонтально-направленого буріння (ГНБ). Річкові переходи належать до найбільш відповідальних ділянок траси через поєднання інженерних та екологічних обмежень: наявність водного середовища, можливі розмиви й зміна русла, високі рівні ґрунтових вод, неоднорідні алювіальні відклади та підвищені вимоги до надійності і герметичності трубопроводу.

Розвиток трубопровідної інфраструктури в таких умовах ускладнюється тим, що традиційні траншейні методи прокладання або ремонту під руслом річки часто є технічно складними й економічно не вигідними. Відкритий спосіб пов'язаний із значними земляними роботами, необхідністю влаштування тимчасових перемичок або водовідведення, ризиком замулення та порушенням екосистеми, а також потребою в подальшому відновленні берегів і руслових елементів. Крім того, траншейні роботи в прибережній зоні збільшують виробничі ризики (робота у водонасичених ґрунтах, обводнення котлованів, небезпека обвалів), а також часто потребують складних погоджень і обмежуються природоохоронними вимогами.

У цих умовах безтраншейне прокладання газопроводів методом ГНБ стає пріоритетним рішенням для річкових переходів, оскільки дозволяє мінімізувати втручання в русло та прибережну смугу, зберегти природний і транспортний режим території та скоротити строки виконання робіт. Водночас ефективність і

безпека ГНБ під річками значною мірою залежать від правильного врахування інженерно-геологічних умов (алювій, галька, валуни, водонасичені піски), вибору бурового інструмента і режимів проходки, а також забезпечення стійкості пілотної свердловини та контролю втрат бурового розчину. Саме тому поглиблення методичних підходів і практичних рекомендацій щодо виконання ГНБ при річкових переходах є актуальним завданням сучасної трубопровідної та нафтогазової інженерії.

На рис. 1.1 наведено діаграму використання технології ГНБ для різних галузей.

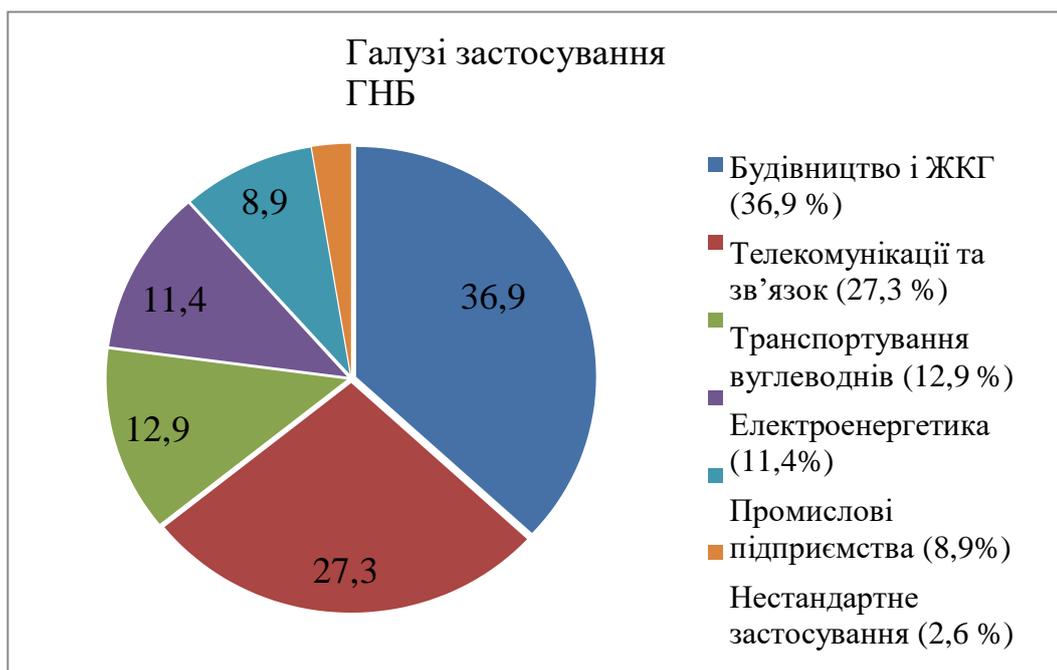


Рисунок 1.1. Діаграма використання технології ГНБ для різних галузей

Найбільшого поширення технологія ГНБ набула під час прокладання трубопроводів водопостачання, каналізації та газорозподільчих мереж, зокрема в межах населених пунктів. Первинно ГНБ розроблялось як рішення для прокладання слаботочних кабелів і коротких підключень до існуючих мереж, однак з розвитком міської інфраструктури саме служби водопостачання, газифікації та телекомунікацій стали основними споживачами безтраншейних технологій.

Доцільність застосування ГНБ визначається насамперед там, де відкритий траншейний спосіб є економічно невиправданим або технічно ускладненим. Траншейні роботи потребують значних витрат на відновлення покриттів і благоустрою, часто супроводжуються обмеженням транспортного руху та зростанням виробничих ризиків. У щільній міській забудові або в умовах обмеженого доступу до ділянки виконання робіт відкритий спосіб може бути практично неможливим, що робить ГНБ оптимальною альтернативою.

Окремою сферою, де ГНБ демонструє високу ефективність, є прокладання інженерних мереж під перешкодами, які небажано або заборонено порушувати. До таких випадків належать проходи під автомобільними дорогами та залізничними коліями, під територіями з цінним благоустроєм, а також під природоохоронними зонами, парками чи спортивними майданчиками. У подібних умовах перевагами ГНБ є мінімальне порушення поверхні, скорочення строків робіт і зменшення екологічного впливу.

Суттєвий попит на безтраншейні технології формує і розвиток телекомунікацій: прокладання волоконно-оптичних ліній зв'язку в містах і на промислових майданчиках потребує швидкого виконання робіт з мінімальним втручанням у наявну інфраструктуру. У таких задачах ГНБ забезпечує можливість прокладати траси у вузьких коридорах та в умовах складної щільності підземних мереж.

Переваги ГНБ проявляються і під час реконструкції або заміни ділянок трубопроводів, коли критично важливо скоротити обсяги земляних робіт і тривалість відключення споживачів. За наявності відповідних технічних умов можливе протягування нової труби з меншим діаметром у межах існуючої, що дозволяє виконувати ремонтні заходи без масштабного розкриття траси. Водночас застосовність такого підходу обмежується станом існуючої труби та вимогами до міцності й герметичності напірних мереж.

Таким чином, оптимальна область застосування ГНБ охоплює роботи, для яких ключовими є: мінімізація порушення поверхні, скорочення строків, зменшення соціальних і транспортних обмежень, а також зниження екологічного

впливу. Зростання кількості об'єктів, що реалізуються методом ГНБ, зумовило формування широкого ринку бурових установок і допоміжного обладнання, здатного працювати в різних інженерно-геологічних умовах — від слабких водонасичених ґрунтів до щільних уламкових відкладів. Це, у свою чергу, розширює практичні можливості технології та підсилює потребу в обґрунтуванні критеріїв її раціонального застосування для конкретних умов будівництва.

1.2 Аналіз сучасного обладнання для горизонтально-направленого буріння і проведення робіт в горизонтальних свердловинах

Попри очевидні переваги безтраншейних технологій, у практиці будівництва та реконструкції підземних мереж їх частка в багатьох випадках залишається відносно невеликою, поступаючись традиційному траншейному способу. Водночас прокладання нового трубопроводу або доступ до існуючих комунікацій траншейним методом потребує значних обсягів земляних робіт: ґрунт необхідно розробити, перемістити, складувати та згодом засипати назад. Це супроводжується істотними витратами енергії, залученням великої кількості техніки й робочої сили, а також тривалим порушенням поверхні території.

У міських умовах траншейні роботи часто призводять до обмеження руху транспорту, заторів і зниження пропускної здатності вулично-дорожньої мережі, а також до додаткових витрат на відновлення дорожнього покриття та благоустрою. Натомість безтраншейні методи, зокрема прокладання переходів із застосуванням установок ГНБ, зазвичай потребують меншого обсягу підготовчих і земляних робіт, що дозволяє скоротити строки виконання, зменшити кількість задіяної техніки та мінімізувати вплив на міську інфраструктуру. У результаті знижується загальна вартість робіт для замовника, особливо з урахуванням непрямих і довгострокових витрат, пов'язаних із ремонтом покриттів та ліквідацією наслідків розривів.

Окремо підкреслюється екологічний ефект: скорочення обсягів земляних робіт і кількості техніки на майданчику потенційно зменшує витрати палива та пов'язані з ними викиди, що в ряді джерел оцінюється як суттєва перевага безтраншейних технологій порівняно з траншейними методами [7].

Незважаючи на всі переваги і той факт, що цей прогресивний метод існує вже кілька десятиліть, безтраншейні технології по-колишньому залишаються в деякому сенсі новаторськими. Тим не менше, інтенсивність використання горизонтально-спрямованого буріння набирає сили, і репутація цього напрямку зростає. Враховуючи високу вартість земляних робіт, включаючи соціальні витрати, пов'язані з порушенням бізнесу і повсякденному діяльності, ГНБ - це переважний метод рішення комунальних проблем в міських районах. Виробники бурових установок, а також постачальники інструменту, систем локації і бурового розчину значно удосконалили технології горизонтально-спрямованого буріння, які дозволяють зараз робити більше довгі, глибокі і точні проходисамих складних ґрунтів з більшою ступенем безпеки для існуючої інфраструктури.

Спрямовані бурові установки, що використовуються в даний час для ГНБ зазвичай складаються з каретки, яка ковзає по рамі і утримує бурові штанги під кутом від 0 до 25 градусів. У більшості випадків гідравлічна потужність використовується для подачі живлення на каретку, що обертає бурові штанги. Ланцюговий або рейковий привід використовується для штовхання або витягування каретки для просування або втягування бурильною колони (рис. 1.2).

Бурові установки широко представлені на ринку і відрізняються головним чином такими показниками як момент, що крутить, тягове зусилля та навантаження на долото, яке вони забезпечують. Незважаючи на різноманітність розмірів і видів, пропонує окремими виробниками, бурові Установки мають деякі спільні риси. Бурова установка забезпечує подачу бурового інструменту та обертання бурильної колони. При бурінні вертикального стовбура, основне зусилля на бурове долото забезпечується вагою бурового вибійного двигуна і бурильною колони. Під час буріння спрямованого стовбура бурильна колона рідко перебуває у вертикальному положенні, і тому бурова установка повинна

забезпечувати навантаження на долото. На бурових установках ГНБ зусилля подачі на буровий інструмент забезпечується (через бурильну трубу) за допомогою ланцюгової передачі або за допомогою зубчастого зачеплення (рейкової передачі).

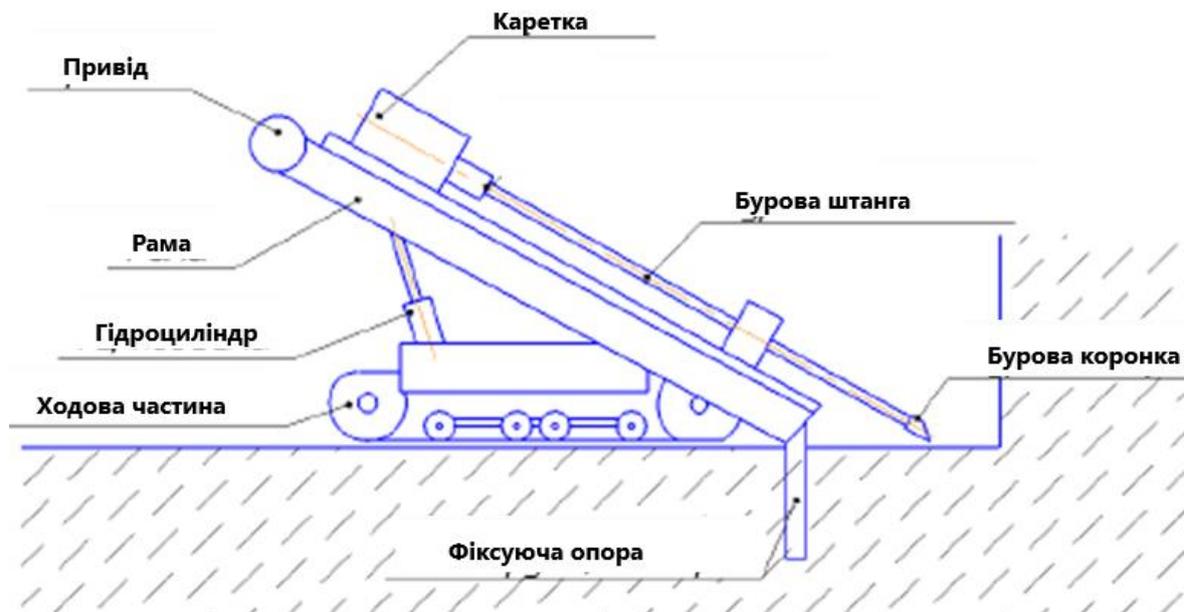


Рисунок 1.2. Типова схема установки ГНБ

Щодо класифікації установок ГНБ, то 2000 року в Європі розроблено єдину класифікацію, яка дає змогу об'єднати й багато інших класифікацій бурової техніки, що існували, але ми торкнемося лише бурових установок горизонтально спрямованого буріння. Установки класифікують за максимальною тяговою силою і максимальною глибиною буріння [8].

Категорія міні-бурових установок зазвичай включає в себе бурові установки, розраховані на тягу менше 180 кН, момент, що крутить, від 5 до 15 кН·м і подачу бурового розчину менше 280 л/хв [2]. Міні-бурові установки зазвичай встановлюються на причепі, вантажівці або самохідному гусеничному ході. Самохідні версії – це автономні агрегати із силовим агрегатом, гідравлічним приводом і насосом для подачі бурового розчину на транспортному засобі. Для цього виду бурових установок характерні допоміжні пристрої, мають автономну систему живлення і насосну станцію для бурових розчинів Бурові

установки, номінальна навантаження яких складає менше 90 кН, використовуються в здебільшого для свердловин малого діаметру, наприклад для прокладки допоміжних кабелів та труб малого діаметра у перевантажених районах. Але деякі з моделей даного класу в цій категорії придатні до застосування для буріння у гравії, бруківці і інших формаціях, де важко підтримувати стабільність буровий свердловини. Для невеликих бурових установок тепер доступні спеціальні системи буріння та свердловинні інструменти для буріння через породи середньої твердості, а також каменів.

Категорія міди-бурових установок зазвичай включає бурові установки, розраховані на тягу від 100 до 400 кН, момент, що крутить, від 15 до 35 кН·м, а також насосну систему бурового розчину від 250 до 800 літрів хвилину [2]. Більшість бурових установок в цю категорію є автономними. Установки Midi зазвичай використовуються для встановлення виробів діаметром до 400 мм на відстань до 600 метрів. Дана категорія бурових установок є основним типом, застосовуваним для монтажу муніципальних трубопровідних продуктів. Ці пристрої компактні та можуть бути легко використані у міських районах, забезпечуючи при цьому можливість встановлення напірних та каналізаційних трубопроводів. Ці агрегати можуть працювати з м'якими або твердими ґрунтами і різних м'яких порід. При використанні вибієвних грязьових двигунів і спеціальних розширювачів ці агрегати можуть виконувати свердління в скельних породи.

Великі (махі) бурові установки зазвичай використовуються у великих операціях з кількома допоміжними змонтованими на трейлері пристроями, відрізняються значними періодами мобілізації. Ці пристрої мають більше високі експлуатаційні витрати і вимагають великих робочих площ. Це зазвичай обмежує їх використання на ринку ГНБ для міських потреб. Бурові установки Махі часто використовуються для трубопроводів великого діаметра (від 400 до 1200 мм) або виключно довгих бурових установок довжиною до 2000 м. Ця категорія бурових установок розрахована на тягове зусилля понад 2000 кН, більше 60 кН·м крутного моменту та з насосною системою бурового розчину,

перевищує подачу 900 літрів в хвилину [2]. Вище наведено саме європейську класифікацію установок ГНБ, оскільки згідно з діаграмою, наведеною на рисунку 1.3, більшу частину обладнання поставляють із закордону.

Класифікація бурових установок для ГНБ, що описана вище систематизовано у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація та основні характеристики бурових установок

Клас бурової установки	Сфера застосування	Максимальна тягова сила, кН	Максимальний крутний момент, кН·м	Вага бурової установки, т	Максимальна довжина буріння, м	Максимальне розширення, мм
Міні	У міських умовах для прокладання кабельних ліній і ПЕ труб діаметром до 250 мм	До 100	1-10	До 7	250	300
Міді	У міських умовах і сільській місцевості при прокладанні трубопроводів діаметром до 800 мм, при перегибах транспортних магістралей і невеликих водних шляхів	100-400	10-30	7-25	750	1000
Максі	При прокладанні трубопроводів довжиною понад 700 м і діаметром до 1250 мм	400-2500	30-100	25-60	1000	1800
Мега	При прокладанні магістральних трубопроводів довжиною понад 1000 м і діаметром до 1800 мм	Більше 2500	Більше 100	Більше 60	2000	2000

Наведено максимальні технічні характеристики обладнання окремо за довжиною буріння та можливим розширенням. Взаємозв'язок між даними параметрами визначається згідно з В.2.4 – В.2.6.

Установки ГНБ пропонуються з широким спектром можливостей. Нижню частину модельного ряду займають компактні міні-установки з зусиллям прямої/зворотної тяги менше ніж 9 т з розмірами, які забезпечують непомітну роботу в житлових кварталах. Це, наприклад, такі бурові комплекси, як DitchWitch JT5 та Toro DD2024 . З іншого боку спектру знаходяться установки максі із зусиллям прямої/зворотної тяги понад 500 тонн, здатні бурити свердловини діаметром, що перевищує 1500 мм, такі як American Augers DD-1100RS, Vermeer D1320x900 , старші моделі PrimeDirect і Herrenknecht

(встановлюються на спеціальних рамах або на гусеничному шасі). за специфікаціям виробників, деякі з цих великих бурових установок можуть сформувати свердловину завдовжки понад 3 км, але на практиці мало хто може похвалитися переходом довше 1800 м [7]. У випадку, коли потрібно наддовга свердловина, можуть використовуватися дві установки в зустрічних напрямках. Таким чином, знижується ймовірність невдалого буріння.

а)



б)



в)



г)



д)



Рисунок 1.3. Загальний вигляд сучасних бурових установок ГНБ: а) Vermeer D33x44; б) Tracto-Technik Grundodrill 15XP; в) DitchWitch JT10; г) Herrenknecht; д) XZ320A

У повсякденній роботі більшість підрядників використовує міди-комплекси. Від 70 до 80% існуючих свердловин зроблено саме з допомогою

установок середнього класу, які використовуються практично во всіх галузях, будь то будівництво інженерних мереж, електроенергетика, телекомунікації або транспорт нафти і газу. У то час як продажукомпактних та важких бурових установок сильно залежать від циклічних коливань телекомунікаційних та нафтогазових ринків, попит на міди- установки демонструє більше стабільності. Більшість виробників мають в своєму асортимент установки цього сегмента. Vermeer пропонує такі моделі, як D20x22 S3, D23x30 S3, D24x40 S3, D40x55 S3, D40x55DRS3, D60x90 S3, D100x140 S3, D220x300 S3, D330x500.

У лінійці Ditch Witch шість середніх моделей: JT20, JT20 XP, T25, JT30 AllTerrain, JT40 AllTerrain, JT 60 AllTerrain, JT 100 AllTerrain. AmericanAugers пропонує три моделі міди: DD110, DD240, DD440 [5].

Одна з останніх розробок компанії Vermeer в цьому класі -встановлення горизонтального спрямованого буріння D40x55DR S3 Navigator, яку можна, можливо використовувати для різних типів ґрунтів: від твердих, середніх та м'яких скельних порід до глинистих ґрунтів. Для буріння скельних порід використовується технологія здвоєний буровий штанги, при якій внутрішня штанга передає обертальне рух буровий голівці, а зовнішня штанга задає напрямок і забезпечує крутний момент для розширювач. Така конструкція надає можливість виконувати прокладання комунікацій у різних умовах з використанням однієї та тій ж техніки. за заяві виробника, бурові установки зі здвоєною штангою набагато простіше у використанні, ніж інші рішення, та забезпечують велику гнучкість, коли в одній свердловині залягають ґрунти різної густини.

Із застосуванням нової здвоєної конструкції бурильної колони, завдяки простому і швидкому внутрішньому і зовнішньому з'єднанню час і обсяг робіт, необхідні для монтажу або демонтажу штанг на D40x55DR S3, скоротилися на 30% в порівнянні з попередніми моделями Vermeer [1]. Порожниста внутрішня штанга збільшує потік повітря і бурового розчину до бурової коронки на пілотних свердловинах і до розширювача при зворотному протягуванні. Це означає, що підрядникам стає доступний ширший набір обладнання, починаючи

від шарошечного конічного долота до пневмомолота, а також з'являється можливість використовувати розширювачі більшого діаметра. Vermeer D40x55DR S3 із силою прямої/зворотної тяги 18 тонн приводиться в дію дизельним двигуном JohnDeere потужністю 140 к.с. Установка може нести на борту до 1500 м бурових штанг. Швидкість каретки на максимальних обертах двигуна досягає 35 м/хв.

Аналогічний принцип буріння з механічною передачею енергії на бурове долото використовується в установках DitchWitchAllTerrain. Установки цієї серії використовують здвоєні штанги, при цьому зовнішня штанга спрямовує бурову колону під час буріння пілотної свердловини, а внутрішня постійно обертає долото. Зовнішня штанга або повільно обертається для підтримання прямолінійного руху, або залишається нерухомою під час подачі для коригування напрямку буріння. Зовнішні штанги мають конічну різьбу для з'єднання, а внутрішні з'єднуються за допомогою шестигранних муфт. Витрата бентонітового розчину не перевищує необхідного для звичайного буріння обсягу. Одна з новинок цієї серії - це установка DitchWitch's JT40 AllTerrainco 160-сильним двигуном Cummins, яка забезпечує крутний момент 8184 Н.м, що на 33% вище, ніж у конкурентів в аналогічному класі. Конструкція з внутрішньою штангою покращує керування інструментом в умовах твердої породи.

Компанія Herrenknecht постачає установки ГНБ із зусиллям тяги від 60 до 600 тонн, у чотирьох стандартних конфігураціях (на рамі, на трейлері, на гусеницях і в модульному виконанні) з окремою кабіною управління оператора. Автономна насосна станція установки працює від дизельного двигуна, розташованого в окремому контейнері, потужність якого може змінюватись в діапазоні від 330 до 1440 кВт в залежності від вимог замовника. Для введення в експлуатацію установки, змонтованої на трейлер, не потрібно кран [3]. Версія на гусеничному ході має значними перевагами в умовах бездоріжжя. Модульні установки можуть бути розділені на дві або три частини для перевезення в стандартних контейнери. У якості опції пропонується гусеничне шасі з

дистанційним керуванням.

Важливу роль при виконанні робіт по технології ГНБ грає високоякісний буровий інструмент. Ведучим постачальником інструментів для горизонтально-спрямованого буріння є компанія Inrock, але ця компанія була придбана компанією Sandvik. Ця угода буде сприяти подальшому розширенню портфеля продуктів для ГНБ, що пропонуються клієнтам Sandvik. Особлива увага при цьому компанія приділятиме сегменту установок середнього класу та прискоренню глобального розвитку свого бізнесу.

Китайські бренди не залишаються в боці і впевнено наздоганяють лідерів. Китайські установки горизонтально-спрямованого буріння під маркою XCMG добре знайомі спеціалістам. Показники новою серії E були значно покращено в відношенні ергономіки робітника місця, безпеки, захисту навколишнього середовища, інформаційного забезпечення, оптимізації системи управління та дизайну.

Інженери XCMG дивляться вперед і намагаються вловити тенденції, які будуть на ринку через 3-5 років. Значні інвестиції у дослідження та розробки дозволяють отримати якісний портфель продуктів в широкому діапазоні. Комплекси серії E працюють ефективніше за попередників на 20% і при цьому споживають на 10% менше палива [18].

Завдяки застосування автоматичною системи заміни бурових штанг з'явилася можливість скоротити кількість обслуговуючого персоналу. Відповідаючи на зростають вимоги користувачів по всьому світу, компанія не тільки постійно розширює модельний ряд установок ГНБ, але і додає спеціальні опції, розраховані на конкретних замовників. Наприклад, бурові установки можуть постачати здвоєні бурові штанги для твердих порід, які підійдуть для роботи в обмеженому просторі. З розкидом зусилля тяги від 16 до 660 тонн, продукти XCMG здатні задовольнити вимоги практично всіх потенційних замовників в будь-яких галузях. Крім того, в якості основного гідронасосу може бути встановлений аксіально-поршневий насос для підвищення швидкості обертання ведучого вала з збереженням тягового зусилля.

Одна з найпопулярніших у серії, установка XZ360E, забезпечує крутний момент 13200 Нм і максимальне тягове зусилля 37 тонн [12]. Насос бурового розчину з витратою 400 л/хв. максимальне тиск 8 МПа.

За оцінок спеціалістів, найбільш перспективні в Україні проекти зі середньої і великої довжиною свердловин і з діаметрами вище середнього.

Певною проблемою широкого застосування ГНБ в Україні є відсутність нормативних документів.

1.4 Висновки до розділу 1. Мета та задачі дослідження

За результатами аналізу сучасних підходів і стану проблематики горизонтально-направленого буріння доцільно сформулювати такі узагальнення:

1. Горизонтально-направлене буріння є однією з ключових безтраншейних технологій прокладання підземних комунікацій, яка найбільш поширена при будівництві та реконструкції мереж водопостачання, каналізації, газорозподілу й телекомунікацій, особливо в умовах обмеженого доступу та високої щільності інфраструктури.

2. Оптимальна область застосування горизонтально-направленого буріння формується там, де траншейний спосіб є технічно складним, економічно не вигідним або соціально неприйнятним: у міській забудові, на ділянках з інтенсивним транспортним рухом, на територіях із цінним благоустроєм, при перетині існуючих інженерних споруд і комунікацій, а також під водними перешкодами.

3. Переходи газопроводів під річками належать до найбільш відповідальних ділянок траси. Для них характерні посилені інженерні та природоохоронні обмеження, а також складні інженерно-геологічні умови (водонасичення, алювіальні відклади, неоднорідність, можливі грубоуламкові ґрунти), через що безтраншейні технології, зокрема ГНБ, часто є найбільш

раціональним рішенням.

4. Техніка для горизонтально спрямованого буріння включає в себе спеціалізовані бурові установки, інструменти для створення кривизни свердловини та системи контролю для точного напрямку свердловини. Ця техніка дозволяє досягати великої довжини горизонтальних ділянок, покращуючи видобуток та зменшуючи вартість буріння.

Тому за **мету роботи** прийнято – розроблення рекомендацій для проходження похилих і горизонтальних ділянок пілотної свердловини при горизонтально-направленому бурінні для безтраншейного прокладання підземного газопроводу високого тиску за умов великого відсотку гальки, щебню і великих включень валунів.

Для досягнення зазначеної мети поставлені такі **завдання**:

1. Провести аналіз сучасних технологій та обладнання для горизонтально-направленого буріння.

2. Охарактеризувати інженерно-геологічні умови з високим вмістом гальки і щебню та наявністю валунів й визначити ключові ускладнення пілотного буріння.

3. Обґрунтувати вибір бурового інструмента для таких умов (тип бурової головки і породоруйнівного інструмента, компоновання бурильної колони, застосування розширювачів на наступних етапах) з урахуванням ризику контакту з валунами та вимог до керованості.

4. Розробити рекомендації щодо складу та параметрів бурового розчину для грубоуламкових ґрунтів та дій при втратах циркуляції.

Таким чином, можна зробити узагальнення, що якість, повнота і достовірність інженерно-геологічних вишукувань не дає можливості прийняти обґрунтовані інженерно-технічні рішення для виконання передбачених проєктом робіт по горизонтально-направленому бурінню.

Згідно з проєктною документацією вказано, що клас наслідків (відповідальності) об'єкта будівництва – СС3. Розрахункову інтенсивність території, має бути замість 6 балів 7...8 балів.

Категорія складності інженерно-геологічних умов при врахуванні фактичної розрахункової інтенсивності території згідно з Листом Мінрегіонбуду від 19.06.2013 р. №7/16-9551 для території із сейсмічністю 7 і вище мають III категорію складності інженерно-геологічних умов. Слід також врахувати сучасні геологічні та інженерно-геологічні процеси і явища: територія є небезпечною з точки зору виникнення бокової ерозії та затоплення.

Максимальна глибина буріння – 15 м.

Максимальна довжина буріння – 670 м.

Діаметр буріння – 250 мм для протягування газопроводу діаметром 219 мм.

З точки зору ГНБ складність спорудження свердловини заключається в наявності великого відсотку щебеню, гравію та гальки. Тому слід розробити відповідні технологічні й інженерно-технічні рішення для похилої ділянки свердловини в межах цих ґрунтів. Горизонтальна частина свердловини буде в ІГЕ-6 – глини сіро-жовті, тверді з прошарками суглинків.

2.3. Аналіз обладнання для проходження ґрунтів із високим відсотком щебеню, гальки, валунів

У сфері ГНБ обладнання для руйнування міцних гірських порід є важливим компонентом, що впливає на ефективність і продуктивність бурових робіт. Відповідно до сучасних досліджень, обладнання іноземного виробництва домінує на ринку України, демонструючи широкий діапазон технічних

можливостей. Однак експлуатація такого обладнання в умовах твердих і скельних гірських порід має певні обмеження та недоліки.

Технічні особливості обладнання для руйнування міцних порід. До основних елементів обладнання, що забезпечують ефективне буріння у скельних породах, належать:

- Долотний інструмент (PDC-долота, шарошкові долота та гібридні системи), що забезпечує руйнування шляхом різання, дроблення або комбінованого впливу на породу.
- Вибійні двигуни (пневматичні та гідравлічні), які перетворюють енергію потоку промивальної рідини у крутний момент для обертання долота.
- Роторно-керовані системи (RSS), що дозволяють точно контролювати траєкторію свердловини навіть у щільних геологічних умовах.

2. Проблеми при бурінні твердих гірських порід

Під час буріння твердих порід виникають наступні технічні виклики:

- Низька швидкість проходки, що зумовлено значним опором міцних порід руйнуванню.
- Інтенсивний знос інструменту, особливо доліт, що потребує частих замін і технічного обслуговування.
- Підвищені вібрації бурового обладнання, що може призвести до зниження стійкості компоновки низу бурильної колони (КНБК) та збільшення часу простоїв.
- Високі витрати енергії для досягнення необхідної продуктивності в умовах твердих порід.

3. Причини недостатньої ефективності в Україні

Однією з ключових проблем у бурінні міцних порід є недостатній рівень впровадження сучасних технологій, які враховують механіку руйнування гірських порід. Це включає:

- Низьку доступність високотехнологічних доліт, адаптованих для різних типів скельних утворень.
- Обмежене використання систем з автоматичним контролем параметрів

буріння, що дозволяє оптимізувати процес у реальному часі.

- Відсутність локальних досліджень щодо ефективності бурових технологій у регіонах із твердими породами, таких як карбонати, граніти та базальти.

4. Перспективні напрямки розвитку

Для підвищення ефективності буріння у твердих гірських породах необхідно:

- Розробити нові матеріали для бурового інструменту, зокрема PDC-доліт із підвищеною стійкістю до зносу.
- Застосовувати інтелектуальні системи керування бурінням для оптимізації параметрів роботи долота та вибійних двигунів.
- Впроваджувати високопродуктивні роторно-керовані системи, що дозволяють зменшити вібрації та підвищити точність буріння.
- Використовувати технології високого тиску та високої температури (НРНТ) для ефективної роботи в складних геологічних умовах.

Таким чином, аналіз обладнання для руйнування твердих порід підкреслює необхідність впровадження інноваційних рішень та технологій у сфері ГНБ. Це дозволить забезпечити високу продуктивність, зниження витрат та мінімізацію технічних ризиків при бурінні в умовах складної геології.

Але варто відзначити що, при наявності включень твердих порід в ґрунті механічна швидкість буріння різко знижується, відбувається прискорений знос бурового інструменту. Для запобігання даних ситуацій необхідно використовувати установки із обладнанням, які будуть здатні бурити в породах різної структури і твердості. Це підтверджує актуальність застосування ударного механізму здатного руйнувати міцні гірські породи [15].

Основною перешкодою для використання ГНБ є наявність пластів скельних порід, або великого відсотку включень гальки, щебеню, валунів.

Компактні бурові установки для прокладки трубопроводів і кабелів мали достатню потужність для роботи в цих пластах, але оператори не мали можливості змінювати траєкторію буріння за допомогою скошеної лопатки, що використовується на більшості бурових установок для управління буровою

головкою. Проштовхування бурової головки в скельних ґрунтах для управління колоною часто неможливо: якщо буровий інструмент потрапляє в скельну породу, то такий прийом не приносить бажаного результату [29].

Раніше вважалося, що оптимальним методом буріння в скельних породах є буріння із застосуванням гідравлічного вибійного двигуна (ГВД) [17]. У невеликих моделях ГНБ не вистачало потужності та продуктивності бурового насоса для застосування ГВД. Великогабаритні бурові установки для прокладання труб великого розміру на довгі відстані мали занадто великі розміри для застосування в умовах міського середовища, а їх використання призводило до значного збільшення вартості проведення бурових робіт.

На сьогодні є різні рішення для ГНБ в скельних гірських породах. Зокрема, ГВД використовують на великих моделях (більше 45 т) для прокладки трубопроводу в міцних гірських породах, на довгих переходах під водними перешкодами і в роботах з трубами великого діаметру.

ГВД приводиться в дію за допомогою бурового розчину, що подається через бурильні труби на мотор, який перетворює силу потоку рідини через обертання і крутний момент. ГВД з'єднаний з буровий штангою, яка забезпечує управління, спрямованість і обертання всієї бурової колони. Інструмент через велику довжину і малу жорсткість керується в свердловині з деякою похибкою, що обмежує застосування цього способу при високих вимогах щодо проектної траєкторії свердловини.

Невисока ефективність ГВД обмежує потужність свердловинного інструменту і вимагає нагнітання великої кількості бурового розчину, що може забезпечити не кожна малогабаритна бурова установка ГНБ. Високий тиск бурового розчину, необхідний для ефективної роботи, може привести до руйнування свердловини і викиду бурового розчину в навколишнє середовище через поверхню ґрунту або ж у води при бурінні через водну перешкоду.

Скошені лопатки з модифікованими різцями часто є самим прийнятним варіантом для робіт в щільному, твердому ґрунті і скельних породах. Існує маса конструкцій зі знімними твердосплавними різцями для ударного і обертального

способів руйнування ґрунту чи скельних порід [38]. Проте робота в скельних гірських породах кардинально відрізняється від роботи в м'яких ґрунтах. Буровий інструмент керується за допомогою «різання» отворів, тобто методом поступальних рухів бурової колони «туди – назад», при цьому сточуючи породу для відхилення у бік необхідного напрямку. У залежності від структури ґрунту бурові роботи можуть сильно сповільнитися. Для виконання таких робіт слід призначити кваліфікованого і досвідченого оператора. Альтернативою може бути дооснащення бурових установок функцією автоматичного управління «різанням», що наразі реалізовано у деяких сучасних бурових установках.

Модифіковані скошені бурові коронки (рис. 2.6) найбільш ефективні при роботах в твердому ґрунті, ґрунті зі скельними включеннями та в пухких гірських породах. Існує безліч головок для буріння твердих порід у різних конфігураціях для малих та великих бурових установок. Вони є в арсеналі багатьох виробників бурового інструменту для ГНБ.



Рисунок 2.6. Бурильний інструмент для ГНБ

Не так давно широке застосування для буріння твердих скельних порід отримали пневмолоти із міцністю на стиск до 170 МПа (рис. 2.7). Ударне буріння зазвичай ефективніше, ніж обертальне буріння, якщо говорити про тверді гірські породи [32]. Молоток працює від подачі великих обсягів стиснутого повітря. І

ще більші обсяги повітря потрібні для прочистки свердловини. Складнощі при витягуванні ґрунту найчастіше критично знижують продуктивність. Пневмомолоти використовуються як з звичайним буровим обладнанням ГНБ з одинарними штангами, так і в моделях, обладнаних подвійними штангами.

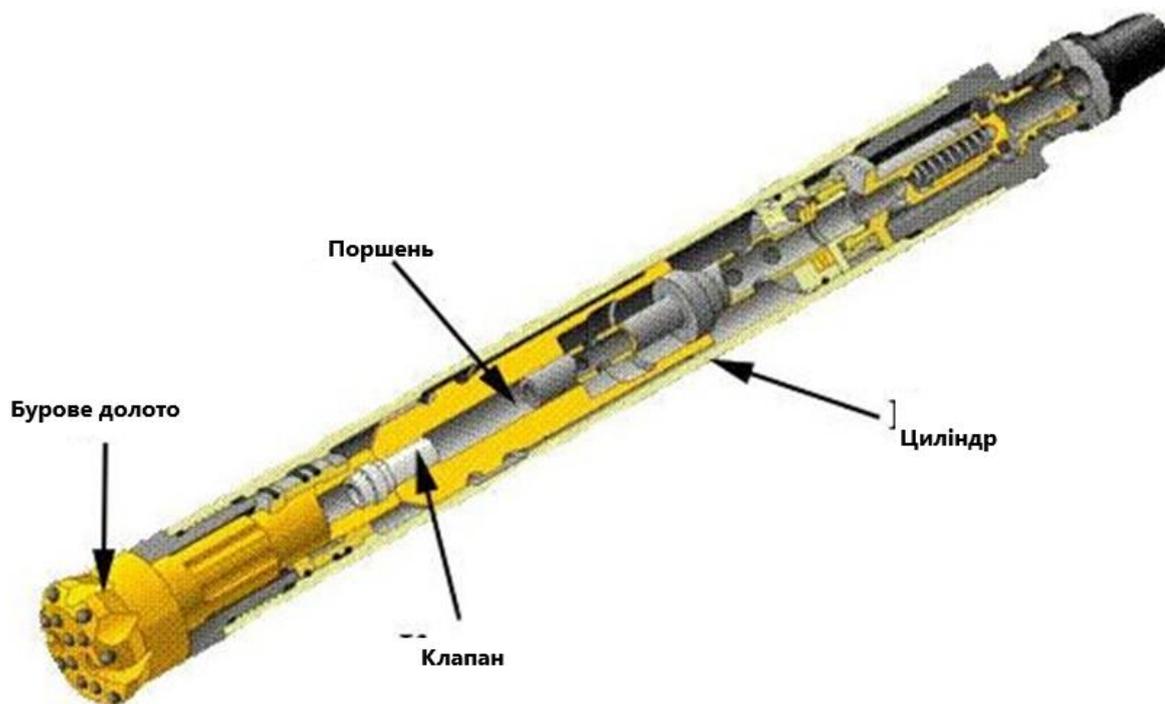


Рисунок 2.7. Пневмомолот COP 32 компанії AtlasCopco

Управління траєкторією свердловини може здатися складним, якщо використовуються одинарні штанги і пневмомолот зі скошеною коронкою. Не так давно функцією пневмомолота були оснащені системи ГНБ із подвійними штангами. Такі системи показали гарну продуктивність з вигином першою штангою для забезпечення управління та внутрішньою штангою для забезпечення обертання пневмомолота.

Пневмомолот не підходить для проходки в м'яких ґрунтах і не використовується на довгих переходах. Пневмомолоти підходять для буріння пілотної свердловини діаметром близько 150 мм у скельних породах (понад 100 МПа) та у певних надтвердих породах (понад 170 МПа). Мінуси пневмомолота в складності контролю напрямку траєкторії свердловини в пухких середовищах, а також за рахунок складності очищення вибою свердловини від

шламу. Також на сьогодні пневмоударники є в малій кількості по діаметрам, що значно обмежує їх використання.

Механічні бурові системи із подвійними штангами забезпечують середні моделі для ГНБ із зворотним потягом від 13 до 45 т. Вони мають продуктивністю, достатньою для буріння в кам'янистих породах, що недоступно стандартним установкам з подібними параметрами. Системи з механічним мотором мають внутрішню штангу, яка наводить в рух породоруйнівний інструмент, а зовнішня штанга забезпечує керування. На відміну від гідравлічного вибійного двигуна зонд локації механічної системи розташовується в буровий голівці (перший штанзі), а не на відстані 4...5 м від неї, що є стандартним розташуванням для вибійного двигуна. Механічна система забезпечує максимальну потужність обертання бурового інструменту, одночасне буріння і управління напрямом в скельних і кам'янистих породах, витрачаючи буровий рідини не більше, чим звичайне обладнання ГНБ такого розміруз одинарними штангами [39].

Крім скельного ґрунту, механічні системи ефективні при роботах в глині і в інших типах ґрунту. Хід буріння не зміниться, якщо кам'янистий ґрунт зміниться на м'який ґрунт. Ґрунт вперемішаний з щебенем є одним з самих незручних серед для спрямованого буріння, так як змінити напрямок буріння в такий ґрунті конче складно. Також не є винятком і система буріння з подвійними штангами при прокладці комунікацій в подібних умовах можливо відхилення від заданою траєкторії.

Якщо машина ГНБ оснащена механічною системою, це означає, що кам'яниста ґрунт не стане перешкодою для проведення спрямованого буріння, як це було раніше. У справжнє час механічні системи буріння скельних порід пропонуються двома виробниками, та їх продукція має суттєві відмінності. До недоліком даної системи можна, можливо віднести високу вартість обладнання, так як виробництві даних систем практично відсутня конкуренція. Виробника даного обладнання є компанії Ditch Witch та TractoTechnik. Також ніде немає інформації згадок о експлуатаційних характеристик даних систем.

У висновку хотілося б відзначити, що сучасні технології значно

розширюють можливості горизонтально спрямованого буріння. У зв'язку з цим зростає і область застосування методу горизонтально спрямованого буріння, слідство чого стає актуальним питання о застосуванні ефективних і економічно вигідних пристроїв, призначених для руйнування міцних гірських порід.

При буріння пілотної свердловини методом ГНБ виникають ситуації, коли на задалегідь запланованою траєкторії буріння виникають труднощі пов'язані з проходження гірських порід високої твердості. У зв'язку з цим, на основі аналізу існуючих механізмів руйнування гірських порід, пропонується гідравлічний пристрій, що дозволяє формувати в бурильній колоні силові імпульси. Даний спосіб руйнування полягає у проходженні силового імпульсу по бурильній колоні з високою швидкістю та передачі енергії до бурового інструменту гірських, що знаходиться в зоні руйнування порід [4,11,31].

Далі розглянемо принцип дії механізму, при роботі плунжерного насосу 1, при допомоги кривошипно-шатунного механізму 2 відбувається зворотно-поступальне рух плунжера 3, тим самим підвищуючи імпульсне тиск в гідроциліндрі 4. Сформований силовий імпульс через пружний елемент, в даному випадку пружним елементом виступає рукав РВС 5, передається в робочу камеру, впливаючи на інерційну масу 8. Так як на інерційну масу 8 діє пружна сила пружини 7, починається перетворення кінетичної енергії в енергію потенційну рідину. Дані перетворення призводять до змінного зниженню і зниження робітника тиску системи. Сформована енергія діє поршень 9, який жорстко з'єднаний з хвостовиком бурильної колони 10. Напрямна балка 12 являє собою раму установки ГНБ, це розташування ударного механізму дозволяє переміщати його в межах робочої зони рами верстата, наприклад, за допомогою ланцюгової передачі. Тобто на установці є деякий механізм подачі для здійснення осьового зусилля на забій.

Варто зазначити, що при ударно-обертovому бурінні руйнування гірської породи відбувається під дією ударного навантаження та крутного моменту одночасно, а між ударами тільки під дією крутного моменту і осьового зусилля.

Руйнування гірський породи ударний навантаженням мало залежить від

РОЗІДЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЕКТУ БЕЗТРАНШЕЙНОГО ПРОКЛАДАННЯ ДЮКЕРУ НАПІРНОГО ГАЗОПРОВОДУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НАПРАВЛЕНОГО БУРІННЯ

3.1. Організація робіт щодо горизонтально-направленого буріння для безтраншейного прокладання дюкера напірного газопроводу

Проектом передбачається укладання ділянки газопроводу (безтраншейне прокладання дюкера газопроводу) на переході через р. Черемош методом ГНБ свердловини діаметром 250 мм (проектна довжина свердловини 670 м).

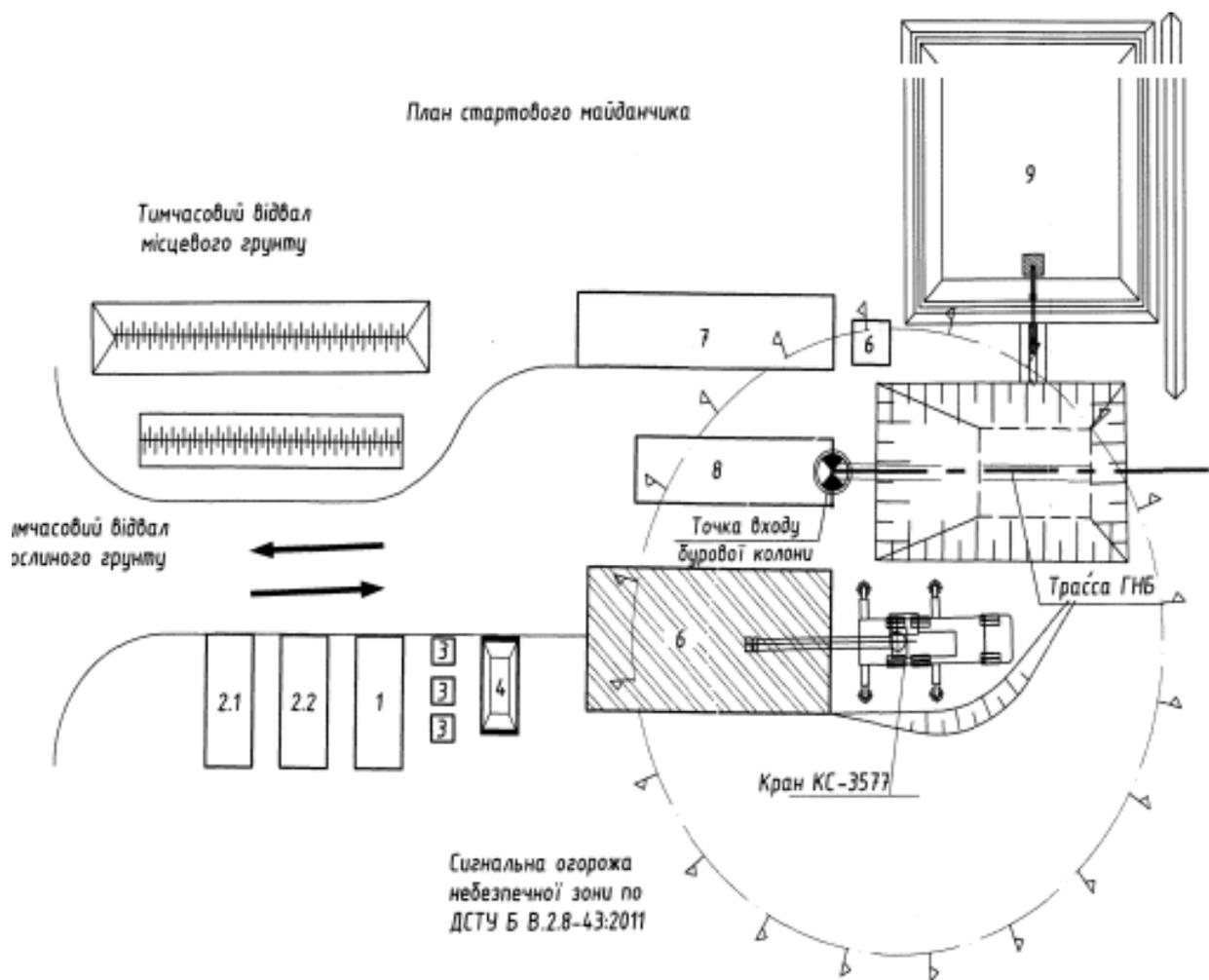
Основні технічні характеристики робіт:

- діаметр сталевого трубопроводу - 219×6 мм;
- довжина ділянки – 670 м;
- метод проходження ґрунту - горизонтально-направлене буріння.

Схема траси прокладання дюкера напірного газопроводу методом ГНБ наведено на рис. 3.1. Профіль траси (свердловини) і її фрагмент – на рис. 3.2 і рис. 3.3 відповідно.

Для спорудження свердловини потрібна на першому етапі облаштувати буровий майданчик і розмістити на ньому бурову техніку і буровий інструмент.

Монтажна площадка №1 (див. рис. 3.4) знаходиться на березі входу пілотної свердловини. Схема облаштування бурового майданчику наведено на рис. 3.5.



Умовні позначення

	Межа проектування		Лінія попередження про обмеження зони дії крана
	Ділянка тимчасового зберігання конструкцій та матеріалів		Траєкторія руху автомобілів
	Пожежний інвентар		Лінія кордону небезпечної зони Сигнальна огорожа
	Основна нитка, що підлягає реконструкції		Тимчасовий відвал ґрунту

Рисунок 3.5. Схема стартового бурового майданчку (на лівому березі річки)

На площадці розміщується наступне обладнання і споруди:

1. бурова установка;
2. станція керування;
3. установка приготування бурового розчину;
4. склад бентоніту;

5. склад бурових штанг;
6. побутові приміщення (вагончики);
7. силовий агрегат;
8. площадка для стоянки автотранспорту;
9. приямок для бурового розчину;
10. амбар для вибуреної породи.

Монтажна площадка №2 (рис. 3.6) знаходиться на березі виходу пілотної свердловини. Розміри площадки 30х35 м. На площадці розміщується наступне обладнання і споруди: 1) стелаж для бурових штанг; 2) амбар-шламовідстійник; 3) приямок для бурового розчину.

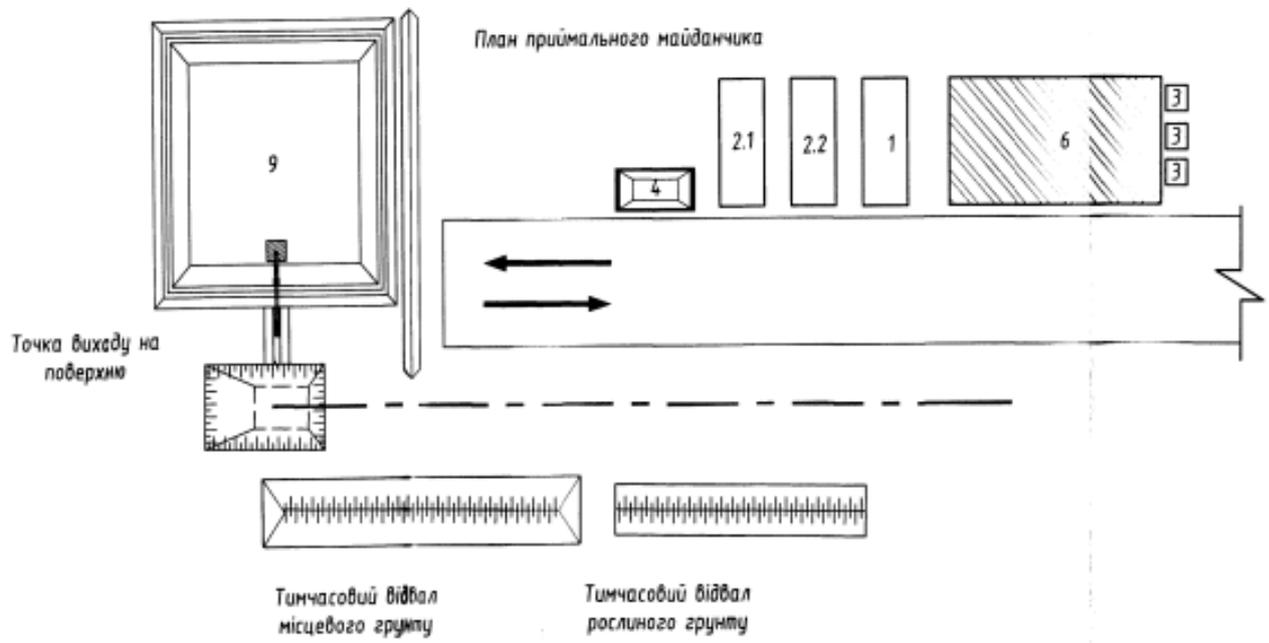


Рисунок 3.6. Схема приймального бурового майданчку (на правому березі річки)

Облаштування місця установки бурового обладнання передбачає:

- Розгортання основного обладнання для виконання робіт. При цьому виконуються наступні технологічні операції: монтаж бурової установки; розміщення допоміжного обладнання: установки приготування бурового розчину, стелажа для бурових штанг, дизельної електростанції, складу бентоніту; прокладка по буровій площадці рукавів подачі бурового розчину і

води, перекачування бурового шламу в амбар, прокладка силових живильних кабелів та ін.

2. Електропостачання бурової площадки здійснюється від дизельної електростанції. Для освітлення площадок по їх межах встановлюються прожектори. У технологічні вузли (станція регенерації і приготування бурового розчину, станція керування, бурова установка) мають індивідуальне освітлення робочих місць. Бурову установку і все обладнання з електроустановками необхідно заземлити.

Основний період будівництва ділянки магістрального газопроводу на переході через р. Черемош починається з безтраншейної прокладки дюкера газопроводу методом горизонтального направлено буріння.

Схема безтраншейної прокладки газопроводу передбачає наступні технологічні операції:

Етап 1. Буріння пілотної свердловини установкою горизонтального направлено буріння з виходом бурової головки в протилежному березі.

Етап 2. Послідовне розширення пілотної свердловини.

Етап 3. Протягування робочого трубопроводу в розширену ґрунтову свердловину виконувати з частинами. Контроль якості зварних з'єднань трубопроводу проводити наступними методами: - 200 % контроль якості (100 % - радіографічним методом + 100 % ультразвуковим методом) захистних (гарантійних) стикових з'єднань.

Етап 4. Контроль суцільності ізоляційного покриття і гідравлічні випробування (виконується Генпідрядником)

Етапність проведення даних робіт наведена на рис. 3.7.

Перед початком буріння пілотної свердловини необхідно:

- виконати закріплення бурової установки з нахилом рами, відповідно до заданого кута входу свердловини;
- перевірити надійність і стійкість радіозв'язку між берегами водної перешкоди (пунктами входу і виходу свердловини);
- перевірити і виконати калібрування системи орієнтації, з метою одержання вихідних показників приладу для наступного коректування напрямку буріння свердловини.

Буріння пілотної свердловини ведеться орієнтованим способом. Перед забурюванням свердловини породоруйнівна головка орієнтується в потрібному напрямку і після кожного нарощування бурової штанги виконується контроль траєкторії стовбура свердловини. При необхідності виконується корегування параметрів викривлення відповідно до проекту.

Буріння по заданій траєкторії здійснюється за допомогою бурового інструмента, закріпленого до бурової колони та маючого конструкцію, що дозволяє керувати напрямком буріння. Перший етап буріння горизонтально направленої свердловини закінчується виходом бурової колони на протилежному березі водної перешкоди в заданому місці.

Після завершення пілотного буріння бурова головка демонтується. У стовбурі свердловини залишається бурова колона, до якої кріпиться розширювач діаметром 200 мм. Додавання тягового зусилля і одночасним обертанням розширювач протягується через стовбур свердловини в напрямку бурової установки, збільшуючи при цьому діаметр свердловини.

Для запобігання втрати пробуреного стовбура свердловини до розширювача приєднується колона бурильних труб, яка рухається за розширювачем на всьому шляху по дну розширеної свердловини.

Свердловина вважається підготовленою до протягування трубопроводу після досягнення проектного значення її діаметру, довжини та проведення її калібрування.

Одночасно з протягуванням розширювача на правому березі ріки на

монтажній площадці підготовки дюкера довжиною 160 м збирається в нитку плеть з труб.

Монтаж робочого трубопроводу для протягування здійснюється на березі, протилежному місцю розташування бурової установки. До переднього кінця робочої плеті приварюється оголовок з проушиною, що сприймає тягове зусилля. Протягування робочого трубопроводу в свердловину не повинне супроводжуватись його скручуванням. Тому між плетью трубопроводу і розширювачем міститься вертлюжний пристрій, що виключає скручування плеті трубопроводу.

До оголовка трубопроводу приєднуються послідовно: вертлюг, розширювач з діаметром найближчим більшим до діаметру дюкера і кінець бурової колони, по якій до бурової установки.

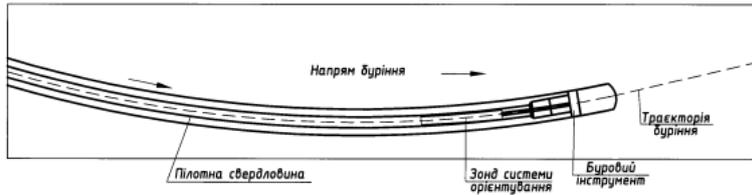
Таким чином, обертаючи і витягуючи бурову колону через стовбур свердловини, бурова установка протягує в свердловину розширювач і робочу плеть трубопроводу.

Плеть робочого трубопроводу перед монтажем повинна бути встановлена в створі переходу таким чином, щоб був забезпечений кут її входу в свердловину. Для забезпечення цієї умови в створі переходу плеть газопроводу підтримують під заданим кутом на трилінках підвісках за допомогою необхідної кількості трубоукладачів.

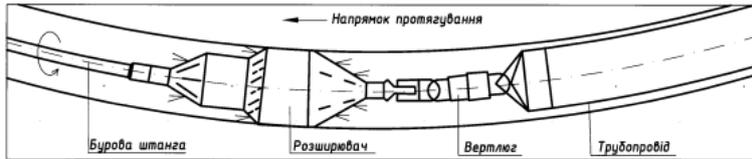
Для протягування плеті влаштовуються роликові опори. Відстань між опорами може коригуватися на місці.

На рис. 3.8 наведено схеми буріння пілотної свердловини діаметром 250 мм, її розширення до діаметру 400 мм та протягування трубопроводу.

1. Буріння пілотної свердловини $\phi 250$ мм



2. Розширення свердловини $\phi 400$ мм



Технологічна схема прокладки трубопроводу

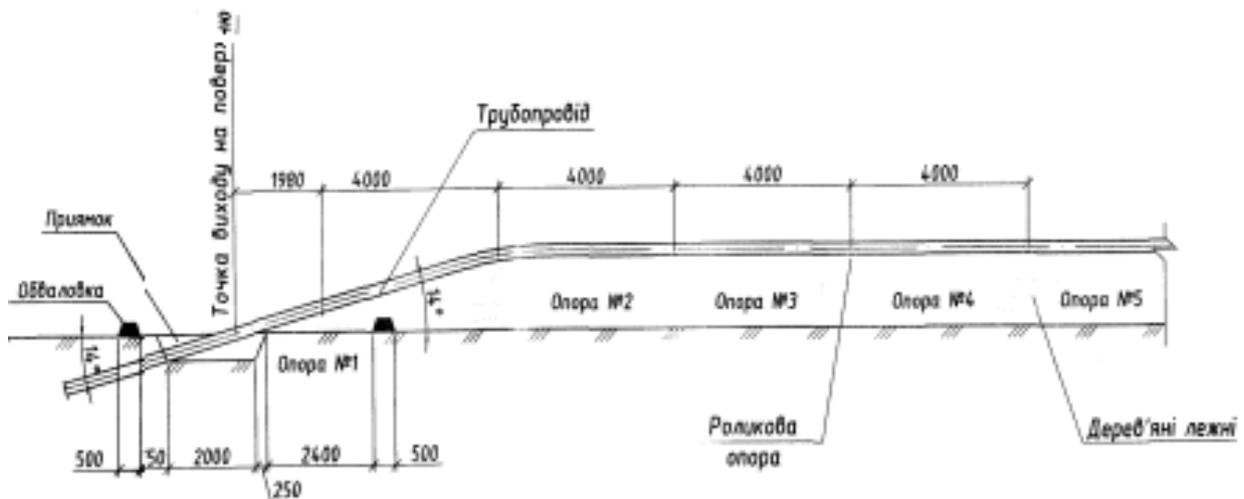
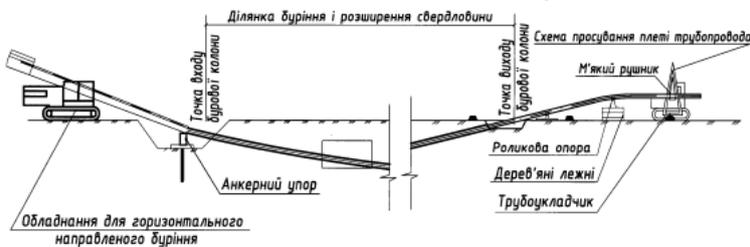


Рисунок 3.8. Схеми буріння пілотної свердловини діаметром 250 мм, її розширення до діаметру 400 мм та протягування трубопроводу

Комплекс горизонтального направлено буріння

№	Найменування	Кількість
1	Бурова установка (тягове зусилля не менше 10 т)	1 комплект
2	Насосно-зміщувальний вузол для подачі, регенерації та очищення бетонітової суспензії	1 комплект
3	Кабельна локаційна система	1 комплект
4	Комплект обладнання та інструментів	1 комплект
5	Пристрій для очищення бетоніту	1 комплект
6	Запасні частини та інструменти для технічного обслуговування	1 комплект

Вказівки до виконання робіт

1. Протягування кожуха 110 мм виконати із застосуванням тягового зусилля через видобуту «на себе» бурову штангу, до виходу трубопроводу в колодязі;
2. Максимальне розрахункове зусилля протягування до 136,1 т;
3. Склад бурового розчину необхідно уточнювати в процесі виробництва робіт і конкретних умов на кожному локальному ділянці.
4. Під час протягування повинна бути чітко налагоджена система зв'язку між стартовою і приймальною майданчиками і всіма задіяними механізмами.

Примітки:

1. Перед початком буріння викликати представників організації, що експлуатують підземні комунікації, які розташовані по трасі буріння трубопроводу методом сонци, які зобов'язані позначити їх в районі робіт добре помітними знаками осі і кординатами цих комунікацій.
2. Будівельна організація, що веде роботи поблизу підземних комунікацій зобов'язана виконати всі зберігання заходи за вказівкою представників експлуатуючих організації.
3. При бурінні установку захистити обноскою $h=1,2$ м, для неможливості контакту поруч стоять робочих до будь-якої частини установки, включаючи трейлер. Робітники, що контактують з обладнанням повинні завжди носити захисний одяг. Зокрема - ізолюючі рукавички і черевіки.

3.2. Аналіз протоколів невдалого пілотного буріння

В Додатку А наведено скан-копії результатів пілотного ГНБ. Із аналізу актів пілотного буріння встановлено, що було виконано 8 спроб пілотного буріння з

перестановкою (зміщенням перпендикулярно осі буріння) бурової установки з фактичним досягненням відміток глибин від 7 до 13 м (загальна довжина буріння коливалася від 40 до 65 м.п.).

Виконані Підрядником спроби пілотного буріння не призвели до досягнення передбачених проєктних результатів. Основна причина – натрапляння бурової установки на непрохідну перешкоду.

Із опису причин по всіх протоколах можна зробити узагальнення, що:

- 1) на певній глибині породоруйнівний інструмент (стандартна для даного обладнання бурова лопатка) натрапляв на великі включення (а можливо і повноцінні прошарки скельної породи) і не міг ефективно зруйнувати їх, оскільки не призначений для цих цілей, це викликало нестабільність кута занурення, ковзання бурової головки уздовж пласта з різким заломленням кута буріння і ризиком поломки бурових штанг;
- 2) відбувалося локальне обвалення стовбуру свердловини і прихват бурильної колони, що викликало суттєві вібрації з підкиданням бурової установки (маса 20 т) і відповідно до суттєвого пошкодження обладнання;
- 3) цілком можливо, що відбувалося значне поглинання бурового розчину в межах ІГЕ-3, що додатково сприяло нестабільності стовбуру свердловини і обвалення його стінок.

Так, можна зробити висновок, що в даних інженерно-геологічних умовах виконати горизонтально направлену свердловину згідно із проєктними рішеннями без додаткових заходів щодо її кріплення і зміни оснащення бурової установки неможливо.

3.3. Обґрунтування вибору бурової установки, бурового інструменту, режимів буріння та параметрів бурового розчину

Передбачається використати бурову установку Ditch Witch JT100, яка відноситься до класу міди – тобто для буріння на довжину до 750 м, для трубопроводів діаметром до 1000 мм, що цілком достатньо для передбачених проектом параметрів трубопроводу.

В інженерно-геологічних умовах з великим відсотком 70% гравію і гальки та наявності валунів ключову роль відіграє вірно підібраний породоруйнівний інструмент, який зможе забезпечити проходження свердловини і її керованість. Тобто незалежно від вибраної бурової установки слід було передбачити спеціалізовані долота для проходження шарів із великим відсотком гравію, гальки і валунів. Існують спеціалізовані долота й інші додаткові інструменти, які є універсальними і підходять до обох бурових установок (мають стандартну різьбу), але не входять в заводський набір інструментів як для бурова установка Ditch Witch JT100, так і для Tusla Rig Iron HDR-160T.

Згідно із аналізом міжнародних норм і досвіду горизонтально направленою буріння (Horizontal Directional Drilling HDD) для безтраншейного прокладання трубопроводів для таких інженерно-геологічних умов доцільно:

- 1) застосовувати спеціальний породоруйнівний інструмент для відповідних інтервалів буріння; для ґрунтів середньої міцності IV-V категорії буримості для механічного обертального буріння є рекомендації щодо використання шарошочних доліт із гідромоніторними насадками, які можуть механічно руйнувати гірську породу; в компоновку до шарошочних доліт рекомендують вибійні двигуни;

- 2) підбирати спеціальні параметри промивних рідин (бурового розчину), щоб з однієї сторони уникнути значного поглинання, а з іншої забезпечити якісне очищення вибою та стійкості свердловини для відповідних інтервалів буріння;

3) передбачати кріплення свердловини (спуск обсадної колони із труб або використання спеціальних тампонажних систем) для уникнення обвалу стінок при зміні породоруйнівного інструменту для подальшого поглиблення свердловини в інших геологічних умовах, а також можливості зміни параметрів бурового розчину при бурінні в інших інтервалах (зокрема, в межах горизонтальної ділянки в ІГЕ-6 – глини сіро-жовті, тверді з прошарками суглинків) та для розширення свердловини в цьому інтервалі;

4) для розширення свердловини передбачати в межах ділянки в ІГЕ-3 однозубі фрези чи літучі різці, які складаються із ріжучого кільця, з'єданого із центральною бурильною трубою через три чи більше розпорки.

Якщо ці аспекти не врахувати, то існують ризики втрати стійкості і керованості свердловини при пілотному бурінні її похилого інтервалу, а також прихоплення бурильної колони і відповідно вихід із ладу бурового інструменту надто високі.

Тому для можливості реалізації в межах верхніх шарів як на вході, так і на виході передбаченої проектом свердловини слід виконати коригування проектної документації (в т.ч. кошторису) в частині ГНБ із врахуванням додаткових заходів щодо: підбору породоруйнівного інструменту для буріння в умовах великого відсотку гравію і гальки та можливості великих за розміром включень типу валунів (наприклад, використання іншого бурового обладнання із застосуванням гвинтових вибійних двигунів із шарошочними долотами, або алмазних коронок, або PDC доліт, або вибійних молотків типу ДТН-молот тощо); відповідних параметрів бурового розчину для ефективного очищення вибою свердловини, забезпечення стійкості її стовбуру без значного поглинання у шар ІГЕ-3 при бурінні; розрахунок значень максимальної швидкості буріння, протягування, необхідних об'ємів і тисків подачі бурового розчину; кріплення відкритого стовбуру свердловини в межах ІГЕ-3 обсадною трубою (за необхідності можливо розглянути рішення щодо можливості витягання обсадної труби) чи попередньо закріплення ґрунтів тампонажними розчинами (наприклад, методом ін'єкції цементним розчином з поверхні або за допомогою суміші

бурового і цементного розчинів, що буде подаватися через свердловину і бурову колону).

Рекомендується застосувати наступні параметри промивної рідини (бурового розчину): в'язкість більше 80 с, тиск подачі буруого розчину 4...6 МПа при діаметрі розкриття вихідного сопла бурової головки 2,3...3 мм.

При бурінні в межах ІГЕ-3 з IV-V групою за буримістю рекомендована швидкість буріння на етапі розширення свердловини 1,1...0,6 м/хв. Її слід уточнити при коригуванні проєкту за результатами уточнених інженерно-геологічних вишукувань.

Нестійкі інтервали в межах ІГЕ-3 як на вході, так і на виході рекомендується додатково закріпити шляхом влаштування обсадної труби (діаметр, довжину, товщину стінок та інші параметри визначити при коригуванні проєкту) або закріплення ґрунтів відповідними тампонажними розчинами (цементация тощо).

3.4. Висновки до розділу 3

1. У межах розділу розроблено організаційно-технологічні рішення для безтраншейного прокладання дюкера напірного газопроводу на переході через р. Черемош методом горизонтально-направленого буріння, із визначенням основних параметрів: діаметр пілотної свердловини 250 мм, довжина переходу 670 м, прокладання сталевого трубопроводу 219×6 мм.

2. Сформовано проектну схему траси та профіль свердловини, що забезпечують виконання переходу без втручання в русло річки та з мінімальним порушенням прибережної смуги, а також створюють передумови для контрольованого виходу бурової головки в заданій точці на протилежному березі.

3. Визначено вимоги до підготовки та облаштування двох бурових майданчиків (стартового та приймального), включно з розміщенням основного і допоміжного обладнання, зоною складування матеріалів, елементами для

приготування/відстою бурового розчину, а також інженерним забезпеченням майданчиків (електропостачання від ДЕС, освітлення, заземлення електроустановок).

4. Запропоновано послідовність виконання робіт методом ГНБ, що включає чотири взаємопов'язані етапи: (1) буріння пілотної свердловини з орієнтованим керуванням; (2) поетапне розширення; (3) протягування робочого трубопроводу; (4) контроль суцільності ізоляції та гідравлічні випробування. Така структура дозволяє забезпечити технологічну керованість процесу і розмежувати операції відповідно до їхнього ризику та відповідальності.

5. Установлено ключові підготовчі заходи перед початком пілотної буріння: фіксація бурової установки за кутом входу, перевірка стійкості зв'язку між берегами та калібрування системи локації/орієнтації. Це є критичним для виконання проектної траєкторії, особливо на довгих переходах під водною перешкодою.

6. Визначено принципові технологічні рішення для етапу розширення: демонтаж бурової головки, встановлення розширювача та протягування його до бурової установки з одночасним обертанням і створенням тягового зусилля, а також застосування колони бурильних труб за розширювачем для збереження сформованого стовбура і стабілізації процесу.

7. Для етапу протягування трубопроводу передбачено конструктивно-технологічні заходи, що знижують ризик пошкодження та неконтрольованих деформацій плеті: застосування вертлюжного пристрою для виключення скручування, використання оголовка з проушиною для передачі тягового зусилля, організація роликів опор та підтримання плеті трубоукладачами під заданим кутом входу у створі переходу.

8. У розділі закладено підхід до контролю якості зварних з'єднань, зокрема посилену схему контролю для захисних (гарантійних) стиків (радіографічний + ультразвуковий контроль), а також передбачено контроль суцільності ізоляційного покриття та гідравлічні випробування як завершальні операції, що підтверджують надійність змонтованого дюкера.

9. Сукупність прийнятих організаційних і технологічних рішень забезпечує виконання робіт у логіці “підготовка майданчиків → кероване пілотне буріння → контрольоване розширення → безпечне протягування → підтвердження якості”, що є необхідною умовою для реалізації переходу газопроводу високого тиску в умовах водної перешкоди.

10. Подальше уточнення робочого проєкту має бути спрямоване на деталізацію параметрів бурового інструмента, режимів буріння та характеристик бурового розчину з урахуванням фактичних інженерно-геологічних умов, оскільки саме ці фактори визначають ризики відхилення траєкторії, втрат циркуляції та ускладнень при розширенні й протягуванні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі вирішено важливу науково-технічну задачу з обґрунтування та розроблення технологічних рекомендацій щодо проходження похилих і горизонтальних ділянок пілотної свердловини при горизонтально-направленому бурінні для безтраншейного прокладання дюкера напірного газопроводу під річкою в умовах водонасичених грубоуламкових ґрунтів (галька, щебінь) із можливими валунними включеннями, із урахуванням вимог до керованості траєкторії, стабільності стовбура, вибору бурового інструмента та параметрів бурового розчину, включно з діями при втратах циркуляції.

1. Виконано аналіз сучасних технологій і обладнання ГНБ для проходження твердих порід та ґрунтів із високим вмістом гальки, щебеню й валунів; встановлено, що визначальним є поєднання достатньої руйнівної здатності інструмента з керованістю траєкторії, особливо на довгих переходах під водними перешкодами.

2. Для переходу через р. Черемош інженерно-геологічні умови характеризуються водонасиченими алювіальними відкладами з суцільними гравійно-гальковими горизонтами та близьким заляганням ґрунтових вод (0,3–1,2 м), а також паводковим режимом і потенційною русловою міграцією, що підвищує вимоги до стабільності стовбура, екологічної безпеки та контролю втрат циркуляції.

3. Визначено, що ключові ускладнення пілотного буріння в грубоуламкових водонасичених ґрунтах пов'язані з ризиком відхилення траєкторії, прихоплень/заклинювань, інтенсивного зносу інструмента та втрат циркуляції; найбільш критичним є проходження похилої ділянки в горизонтах із високим вмістом гальки/валунів, тоді як у твердих глинах горизонтальної ділянки умови керованості та стабільності є сприятливішими.

4. Виявлено обмеження вихідних інженерно-геологічних даних для ІГЕ-3 (відсутні гранулометричний склад, розміри частинок і методика визначення вмісту гальки/гравію), що ускладнює обґрунтований підбір породоруйнівного

інструмента та параметрів бурового розчину; обґрунтовано необхідність уточнення ІГЕ-3 за ДСТУ Б В.2.1-19:2009 і встановлення категорій буримості.

5. Показано, що стандартні керовані головки зі скошеною геометрією в кам'янистих середовищах мають обмеження, тоді як вибійні двигуни та ударні системи можуть підвищити ефективність руйнування міцних включень, але потребують додаткового техніко-технологічного обґрунтування для річкових переходів через вимоги до енергозабезпечення/тиску, ризику “frac-out” та складність забезпечення керованості й очищення вибою.

6. Розроблено організаційно-технологічні рішення робочого проєкту безтраншейного прокладання дюкера газопроводу методом ГНБ (670 м, пілотна свердловина Ø250 мм, трубопровід 219×6 мм) із визначенням схеми майданчиків і поетапності робіт (пілотне буріння → розширення → протягування → контроль якості). Подальше підвищення надійності виконання переходу має базуватися на узгодженому виборі інструмента та рекомендаціях щодо складу/параметрів бурового розчину і дій при втратах циркуляції в грубоуламковому водонасиченому алювії.

GENERAL CONCLUSIONS

The thesis addresses an important scientific and engineering problem of substantiating and developing technological recommendations for drilling the inclined and horizontal sections of a pilot borehole in horizontal directional drilling (HDD) for trenchless installation of a high-pressure gas pipeline river crossing (siphon/duker) under water-saturated coarse-grained soils (gravel, crushed stone) with possible boulder inclusions, taking into account trajectory steerability requirements, borehole stability, the selection of drilling tools, and drilling-fluid parameters, including procedures for responding to loss of circulation.

1. A review of current HDD technologies and equipment for drilling in hard formations and soils with a high content of gravel, crushed stone, and boulders has been carried out. It was established that the key requirement is to combine sufficient rock-breaking capacity with reliable trajectory control, especially for long crossings beneath water obstacles.

2. For the Cheremosh River crossing, the engineering-geological conditions are characterized by water-saturated alluvial deposits with continuous gravel–pebble horizons and a shallow groundwater table (0.3–1.2 m), as well as a flood regime and potential channel migration. These factors increase the requirements for borehole stability, environmental safety, and loss-of-circulation control.

3. The main pilot-hole drilling complications in coarse-grained, water-saturated soils were identified as the risk of trajectory deviation, sticking/jamming, intensive tool wear, and loss of circulation. The most critical section is the inclined interval within horizons containing a high proportion of gravel and boulders, whereas the horizontal interval in stiff clays provides more favorable conditions for controllability and stability.

4. Limitations of the baseline engineering-geological data for IGE-3 were identified (no grain-size distribution, particle sizes, or methodology for determining gravel content), which complicates the justified selection of the rock-breaking tool and

drilling-fluid parameters. The need to refine IGE-3 in accordance with DSTU B V.2.1-19:2009 and to establish drillability categories is substantiated.

5. It was shown that standard steerable wedge-type heads have limitations in rocky and cobbly media. Downhole motors and percussive systems can increase the efficiency of breaking hard inclusions, but they require additional technical and technological justification for river crossings due to energy/pressure demands, the risk of frac-out, and the complexity of maintaining steerability and effective hole cleaning.

6. Organizational and technological solutions for the working design of a trenchless gas-pipeline siphon (duker) installation by HDD were developed (670 m, pilot hole Ø250 mm, pipeline 219×6 mm), including the layout of the work sites and the staged execution sequence (pilot drilling → reaming → pullback → quality control). Further improvement of crossing reliability should be based on coordinated tool selection and recommendations for drilling-fluid composition/parameters and loss-of-circulation response in coarse-grained, water-saturated alluvial deposits.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В.С. Підземний ремонт свердловин / В.С. Бойко. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2009. – 587 с.
2. Буріння горизонтальних свердловин: Сучасний погляд. www.ukrgas.com.ua.
3. Буріння свердловин: навч. посіб. / Є.А. Коровяка, В.Л. Хоменко, Ю.Л. Винников, М.О. Харченко, В.О. Расцветаєв; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 292 с.
4. Винников Ю.Л. Методологія науково-дослідних робіт: конспект лекцій для студентів спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології. Ступінь вищої освіти – магістр / Ю.Л. Винников. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2022 – 70 с.
5. Глушко, Ю. П. Розробка сучасних компоновок низу бурильної колони для похило-скерованого буріння. Техніка і технології нафтогазовидобутку, 2023, №5, с. 22-30.
6. Гончаренко, П. С. Порівняльний аналіз систем управління бурінням. Нафтогазові розробки, 2023, №2, с. 10-16.
7. Гошовський С.В. Ефективність сучасних технологій вторинного розкриття продуктивних горизонтів і шляхи її підвищення / С.В. Гошовський, Ю.І. Войтенко, П.О. Сорокін // Нафтова і газова промисловість. – 2013. – №2. – С. 12 – 15.
8. Дем'яненко І.І. Проблеми і оптимізація нафтогазопошукових і розвідувальних робіт на об'єктах Дніпровсько–Донецької западини / І.І. Дем'яненко. – Чернігів: ЦНТЕІ, 2004. – 220 с.
9. До оцінки первинного розкриття продуктивних горизонтів на родовищах України / М.А. Мислюк, І.М. Ковбасюк, В.М. Стасенко, М.В. Гунда // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – №6. – С. 17 – 19.
10. До питання визначення відкритої пористості порід за допомогою газоволуметричного методу / М.Ю. Нестеренко, Я.А. Пилип, В.В. Іванов,

Ю.М. Віхоть // Нафтова і газова промисловість. – 2011. – №2. – С. 17 – 20.

11. Іванченко, В. М. Розробка екологічно безпечних методів горизонтального буріння. Екологія нафтогазового сектору, 2023, №4, с. 14-20.

12. Карп І.М. Стан і перспективи розвитку нафтогазового комплексу України / І.М. Карп, Д.О. Єгер, Ю.С. Зарубін. – К.: «Наукова думка», 2006. – 309 с.

13. КНБК для горизонтального буріння: Українські розробки. Геотехнічний журнал, 2022, №3, с. 17-22.

14. Ковальчук, О. В. Аналіз роторно-керованих систем для горизонтального буріння. Нафтогазовий журнал України, 2021, №2, с. 45-50.

15. Коцкулич Я.С. Закінчування свердловин: підручник / Я.С.Коцкулич, О.В. Тищенко. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2009. – 366 с.

16. Мартиненко, Л. І. Технологічні інновації в бурінні горизонтальних свердловин. Промислова геологія, 2022, №6, с. 28-33.

17. Новітні методи розкриття та освоєння пластів з аномально низькими пластовими тисками / О.О.Іванків, В.М.Світлицький, М.М. Яворський, А.А.Писаренко // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2007. – №2(16). – С. 48 – 53.

18. Петренко, І. М. Особливості експлуатації компоновок низу бурильної колони в глибоких свердловинах. Вісник геології та інженерії, 2022, №3, с. 34-41.

19. Політучий О.І. Буріння нафтових і газових свердловин: навч. посібник / О.І. Політучий. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2021. – 170 с.

20. Промивальні рідини в бурінні: Підручник для студентів спеціальностей 184 «Гірництво» та 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Є.А. Коровяка, Ю.Л. Винников, А.О. Ігнатов, О.В. Матяш, В.О. Расцветаєв; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка», 4-те вид., доп. – Дніпро : Журфонд, 2023. – 420 с.

21. Світлицький В.М. Сучасні проблеми розкриття та збереження продуктивних характеристик пластів / В.М. Світлицький, О.О. Іванків,

Є.В. Вішнікін // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – №6. – С. 16 – 18.

22. Технологія і техніка буріння / В.С. Войтенко, В.Г. Вітрик, Р.С. Яремійчук, Я.С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.

23. Українські досягнення у сфері горизонтального буріння. Бурові технології, 2023, №1, с. 6-10.

24. Шелудько, О. В. Технології похило-скерованого буріння: сучасні рішення для України. Нафтогазова галузь України, 2023, №4, с. 12-18.

25. Abraham W. Khaemba, Dennis M. Onchiri, BHA and drilling parameters design for deviation control in directional wells-menengai experience. Proceedings of the 6th African Rift Geothermal Conference (2016), p.8

26. Advanced Technologies for Horizontal Drilling. Oilfield Review, 2022, Vol. 46, pp. 9-17.

27. Briaud J.-L. Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils / J.-L. Briaud. Wiley. – 2013. – 1024 p.

28. Brown, L. Directional Drilling Equipment: Trends and Innovations. Petroleum Science, 2022, Vol. 16, pp. 12-18.

29. Churcher P.L. Properly designed underbalanced drilling fluids can limit formation damage / P.L. Churcher // Oil and Gas J. – 1996, Vol. 94, №18. – P. 50 – 56.

30. Correlation equation between physical and mechanical properties of sedimentary rocks / M. Zotsenko, Yu. Vynnykov, M. Kharchenko, M. Rybalko, A. Aniskin // Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – 2022. – Is. 2(59)'. – P. 89 – 91.

31. Directional Drilling Challenges and Solutions. Drilling Contractor Magazine, 2023, Vol. 59, pp. 18-25.

32. Evaluation of MWD and LWD Tools in Horizontal Drilling. Drilling and Completion Technology Review, 2023, Vol. 51, pp. 10-15.

33. Future Directions in Horizontal Well Drilling. Petroleum Engineer International, 2023, Vol. 37, pp. 29-35.

34. Innovations in Drill String Components. Energy Exploration &

Exploitation, 2023, Vol. 41, pp. 31-38.

35. Jenkins, D. Integrated Horizontal Drilling Systems. *World Oil Journal*, 2022, Vol. 240, pp. 14-20.

36. Jiaxiang Xia, Changxue Yang, Xingzhong Wang, Key technologies for well drilling and completion in ultra-deep sour gas reservoirs, Yuanba Gasfield, Sichuan Basin. *Natural Gas Industry B* 3 (2016), pp. 607-613

37. Lee, K. Evaluation of Modern Downhole Tools for Extended Reach Drilling. *Journal of Energy Resources Technology*, 2023, Vol. 145, pp. 19-27.

38. Nash, A. Challenges in Horizontal Drilling Operations. *Petroleum Engineering International*, 2023, Vol. 39, pp. 8-14.

39. Offshore Horizontal Drilling Technologies. *Offshore Technology Conference Proceedings*, 2023, pp. 34-40.

40. Optimization of Horizontal Well Profiles. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2023, Vol. 119, pp. 45-53.

41. Rotary Steerable Systems for Horizontal Wells. *Journal of Drilling Technology*, 2023, Vol. 37, pp. 15-22.

42. Smith, J. Advances in Horizontal Drilling Technologies. *Oil & Gas Engineering*, 2023, Vol. 45, pp. 24-30.