

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра водогосподарської інженерії

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри водогосподарської інженерії

к.с.-г.н., доц. _____ А.В. Ткачук
„_____” _____ червня _____ 2026 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

освітнього ступеня «бакалавр»

на тему: Проєкт водозабору об'єкта критичної інфраструктури в селищі
Олександрівка Краматорського району Донецької області

Виконав: студент 4 курсу, групи ГТБ–1-22
спеціальності – 194 «Гідротехнічне будівництво,
водна інженерія та водні технології»

Слапигін Р.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник доц. Ткачук А.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Дніпро – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 Дніпровський державний аграрно-економічний університет
 Факультет водогосподарської інженерії та екології
 Кафедра водогосподарської інженерії
 Спеціальність 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
 та водні технології»
 Освітньо-професійна програма «Водна інженерія та водні технології»
 Освітній ступінь «бакалавр»

ЗАТВЕРДЖУЮ :
Завідувач кафедри
водогосподарської інженерії
 к.с.-г.н., доц. Ткачук А.В.
 «_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу здобувачу

Слапигіну Ростиславу Родіоновичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту Проект водозабору об'єкта критичної інфраструктури в селищі Олександрівка Краматорського району Донецької області
 керівник проекту _____ к.с.-г.н., доцент Ткачук Андрій Васильович _____,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «24» квітня 2026 р. № 819

1. Строк подання студентом проекту 12 червня 2026 року
2. Вихідні дані: план ділянки зрошення, сівозмінна, природно-кліматичні умови; хімічний склад поливної води .
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) природно-кліматична характеристика району дослідження; фондові дані про інженерні вишукування на території проєктування.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) інженерно-геологічний розріз свердловини; обладнання свердловини; зони санітарної охорони.

5. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк вико- нання етапів проекту	Примі- тка
1	ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ	30.04.2026	
2	ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ВОДОЗАБІРНОЇ СВЕРДЛОВИНИ	30.04.2026	
3	РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА СВЕРДЛОВИНИ	01.05.2026	
4	КОНСТРУКЦІЯ І КРІПЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН	08.05.2026	
5	ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ	15.05.2026	
6	ОБЛАДНАННЯ СВЕРДЛОВИНИ	22.05.2026	
7	ЗОНИ САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ	28.05.2026	
8	КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ	05.06.2026	
9	Вступ, Висновки, оформлення роботи	12.06.2026	
10	Подача на перевірку	16.06.2026	

Здобувач _____

Р.Р. Слапигін
(підпис)

Керівник проекту _____

А.В.Ткачук
(підпис)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
1. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ	10
1.1 Географічне розташування та стислий опис об'єкта	10
1.2 Геоморфологічні та гідрогеологічні умови району	11
1.3 Клімат	13
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ВОДОЗАБІРНОЇ СВЕРДЛОВИНИ	16
2.1 Передумови та актуальність будівництва об'єктів критичної інфраструктури	16
2.2 Вибір та обґрунтування місця розташування артезіанських свердловин	17
2.3 Обґрунтування конструкції фільтра свердловини	19
3 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА СВЕРДЛОВИНИ	23
3.1 Вибір діаметра і довжини водоприймальної частини свердловини	23
3.2 Розрахунок зниження рівня води в свердловині	27
3.3 Підбір насосного обладнання свердловини	30
4. КОНСТРУКЦІЯ І КРІПЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН	33
4.1 Проектування конструкції свердловини	33
4.2 Бурове обладнання та інструмент	39
5. ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ	43
5.1 Буріння свердловин з прямим промиванням	43
5.2 Забурювання свердловини	45
5.3 Режими буріння	46
5.4 Очищення свердловини від шламу та уламків порід при бурінні	50
5.5 Цементування свердловини	54

	Стор.
6. ОБЛАДНАННЯ СВЕРДЛОВИНИ	63
6.1 Колодязь свердловини	63
6.2 Електротехнічне обладнання свердловини	67
7 ЗОНИ САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ	72
7.1 Санітарно-топографічна характеристика території зони санітарної охорони	72
7.2 Зона санітарної охорони суворого режиму	73
7.3 Зона санітарної охорони другого поясу	75
7.4 Зона санітарної охорони третього поясу	81
7.5 Санітарно-оздоровчі заходи, що повинні проводитися в зонах санітарної охорони свердловини	82
8. КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ	84
8.1 Розрахунок вартості будівництва водозабірної свердловини	84
ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	89

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки: 119 сторінок, 17 рисунків, 9 таблиць, 31 джерело.

У дипломному проєкті розглянуто питання проєктування водозабірної споруди як складової критичної інфраструктури в умовах воєнного стану та після-воєнного відновлення України. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення надійного та безперебійного функціонування систем водопостачання в умовах пошкодження або руйнування інженерної інфраструктури.

У роботі проаналізовано сучасний стан і нормативно-правові засади функціонування об'єктів критичної інфраструктури, а також підходи до їх відновлення з урахуванням вимог підвищеної надійності та стійкості до зовнішніх впливів.

Метою дипломного проєкту є розроблення технічних рішень щодо будівництва водозабору з урахуванням сучасних вимог надійності, безпеки експлуатації та стійкості до надзвичайних ситуацій.

Для досягнення поставленої мети виконано такі завдання: проведено аналіз нормативних вимог; обґрунтовано доцільність будівництва водозабірної споруди; розроблено основні технічні рішення; здійснено оцінку інженерних та експлуатаційних параметрів; визначено заходи підвищення надійності роботи об'єкта в умовах можливих ризиків.

Об'єктом дослідження є водозабір як елемент критичної інфраструктури територіальної громади.

Предмет дослідження – інженерні та проєктні рішення будівництва водозабірних споруд з урахуванням вимог надійності, безпеки та стійкості.

У результаті виконання дипломного проєкту розроблено комплекс технічних і організаційних рішень, спрямованих на забезпечення ефективного та безперебійного функціонування водозабору.

Ключові слова: водозабір, критична інфраструктура, підземні води, водопостачання, свердловина, надійність, стійкість.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку України характеризується суттєвими викликами, пов'язаними зі збройною агресією Російської Федерації, наслідком якої стало масштабне руйнування об'єктів життєзабезпечення населення та виробничої інфраструктури. Особливо значних пошкоджень зазнали об'єкти критичної інфраструктури, функціонування яких безпосередньо впливає на безпеку держави, економічну стабільність і забезпечення базових потреб населення. В умовах воєнного стану питання відновлення та розвитку таких об'єктів набуло стратегічного значення для державної політики України.

Відповідно до державного підходу, критична інфраструктура розглядається як сукупність об'єктів, систем і мереж, порушення функціонування яких може призвести до значних негативних наслідків для життєдіяльності населення та національної безпеки. Унаслідок бойових дій значна кількість об'єктів систем життєзабезпечення була пошкоджена або зруйнована, що обумовило необхідність їх оперативного відновлення та підвищення стійкості до надзвичайних впливів [1].

Державна політика у сфері відбудови базується на комплексі нормативно-правових актів і програм, спрямованих на відновлення критично важливої інфраструктури. Зокрема, постановою Кабінету Міністрів України № 619 від 13.06.2023 передбачено механізми використання бюджетних коштів для нового будівництва, реконструкції та інженерно-технічного захисту об'єктів критичної інфраструктури, зокрема систем життєзабезпечення населення [2]. Реалізація зазначених заходів здійснюється із залученням державних органів, місцевого самоврядування та міжнародних партнерів.

Важливу роль у післявоєнному відновленні відіграють міжнародні програми підтримки України. Програма відновлення України, що реалізується за підтримки Європейського інвестиційного банку, передбачає фінансування проєктів реконструкції та розвитку муніципальної й критичної інфраструктури у

регіонах, які найбільше постраждали від воєнних дій або зазнали значного навантаження через переміщення населення [3]. Подальшим етапом стала Програма відновлення України ІІІ, спрямована на реконструкцію та нове будівництво об'єктів інженерної інфраструктури, включаючи системи життєзабезпечення громад [4].

На державному рівні також створено інституційні механізми реалізації політики відновлення. Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України координує проекти відбудови та захисту критичної інфраструктури, забезпечуючи реалізацію будівельних і інженерних заходів навіть у період активних воєнних загроз [5]. Такий підхід відповідає принципу «відбудовувати краще, ніж було» (Build Back Better), який передбачає підвищення надійності та стійкості інфраструктурних систем.

З огляду на зазначене, особливої актуальності набуває нове будівництво об'єктів критичної інфраструктури у прифронтових та постраждалих громадах, де забезпечення стабільного функціонування інженерних систем є ключовою умовою відновлення соціально-економічного розвитку територій.

Тема дипломного проєкту відповідає пріоритетним напрямкам державної політики у сфері відбудови України та спрямована на підвищення надійності функціонування життєво важливих інженерних систем громади.

Метою дипломного проєкту є розроблення технічних і проєктних рішень щодо нового будівництва водозабору як елемента критичної інфраструктури з урахуванням сучасних вимог надійності, безпеки експлуатації та стійкості до надзвичайних впливів.

Реалізація поставленої мети передбачає вирішення таких основних завдань:

1. дослідження природних умов об'єкта проєктування;
2. обґрунтування необхідності нового будівництва водозабору;
3. розроблення технічних рішень з конструкції водозабірної споруди;
4. розробку технологічних параметрів спорудження свердловини;
5. визначення зон санітарної охорони;
6. розрахунок кошторисної вартості.

Об'єкт дослідження – водозабір як елемент критичної інфраструктури територіальної громади.

Предмет дослідження – інженерні, технологічні та проєктні рішення нового будівництва водозабору з урахуванням вимог стійкості, надійності та безпечної експлуатації в умовах воєнних ризиків.

Таким чином, виконання дипломного проєкту спрямоване на практичну реалізацію державної стратегії відновлення критичної інфраструктури та забезпечення сталого функціонування територіальних громад України в умовах воєнного та післявоєнного періоду.

1. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ

1.1 Географічне розташування та стислий опис об'єкта

В адміністративному відношенні проєктований об'єкт розташований на південно-східній околиці селища Олександрівка Краматорського району Донецької області. Розміщення водозабірних споруд на околиці населеного пункту відповідає вимогам до планування об'єктів водопостачання та санітарних зон їх розташування [6]. Відстань від об'єкта до найближчого крупного міста – Краматорська – становить близько 60 км, що забезпечує задовільний транспортний зв'язок та можливість обслуговування об'єкта.

Під'їзд до ділянки будівництва можливий існуючими дорогами місцевого значення. Наявність транспортної інфраструктури є важливою умовою для організації будівельного процесу, підвезення матеріалів і обладнання, що враховується при інженерних вишукуваннях. Територія характеризується відносно вільною забудовою, що є сприятливим фактором для розміщення інженерних споруд водопостачання.

У геоморфологічному відношенні ділянка розташована в межах схилу вододілу. Таке положення території є типовим для рівнинних районів України та сприяє природному відведенню поверхневих вод [7]. Рельєф місцевості рівнинний, з незначними ухилами, що створює сприятливі умови для будівництва та експлуатації споруд.

Абсолютні відмітки поверхні землі в межах ділянки змінюються від 93,00 до 96,00 м. Невеликі перепади висот дозволяють зменшити обсяги вертикального планування території, що відповідає загальним принципам інженерної підготовки будівельних майданчиків. Рельєф слабохвилястий, без розвитку небезпечних геоморфологічних процесів.

Оглядова схема розташування об'єкта проєктування наведена на рисунку 1.1.

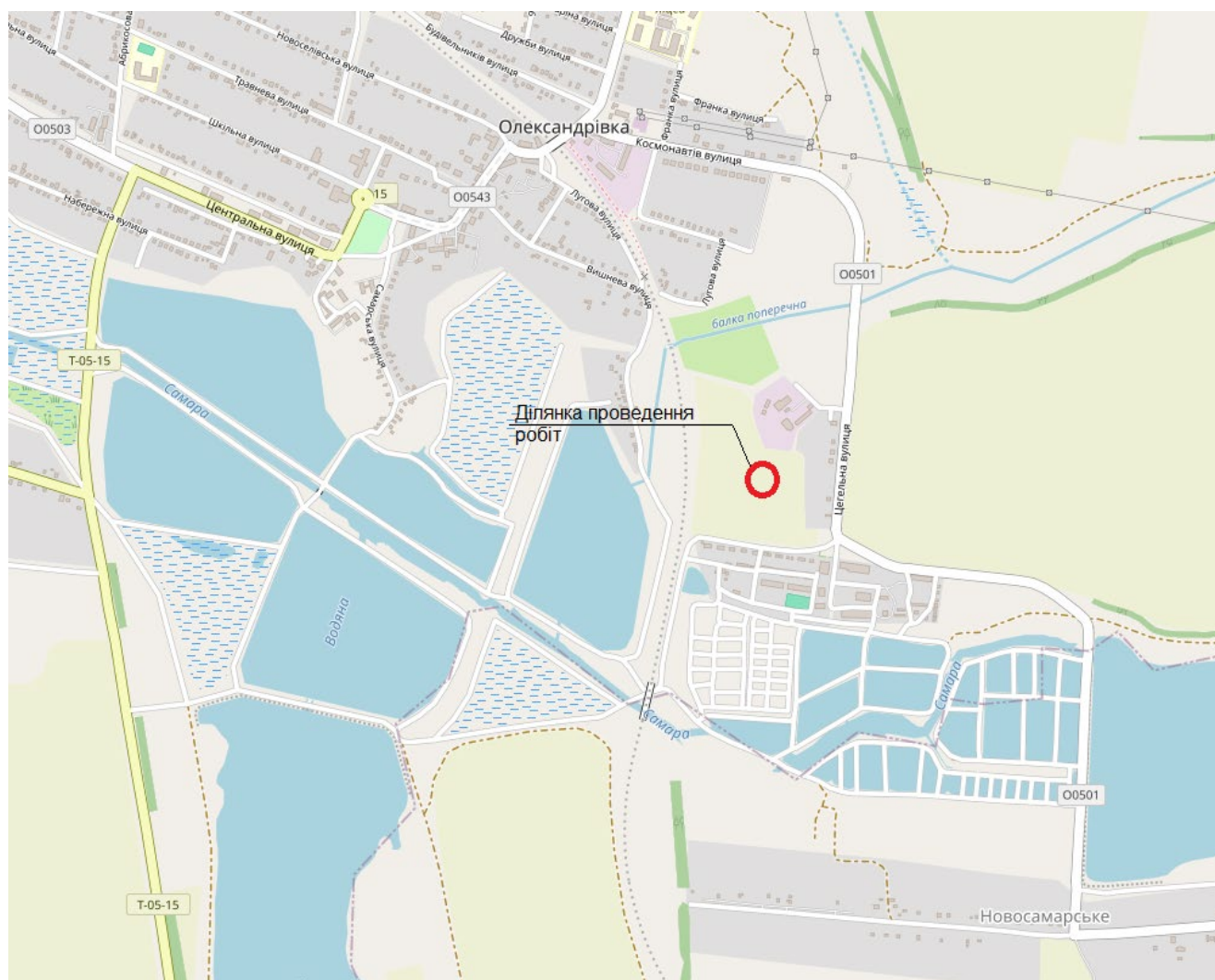


Рисунок 1.1 – Ситуаційна схема розташування об'єкта проєктування.

1.2 Геоморфологічні та гідрогеологічні умови

У геоморфологічному відношенні територія дослідження розташована в межах схилу вододілу. Рельєф ділянки будівництва переважно рівнинний, слабо-хвилястий, без різко виражених форм. Абсолютні відмітки поверхні землі в межах майданчика артезіанських свердловин змінюються в інтервалі 93,00–96,00 м, що свідчить про незначні перепади висот і сприятливі умови для виконання будівельних робіт.

У геоструктурному відношенні ділянка приурочена до південно-східного борту Дніпровсько-Донецької западини, що є однією з найбільших тектонічних структур України [7, 8].

Геологічна будова території є складною та представлена різновіковими відкладами. У розрізі беруть участь кристалічні породи архею та протерозою, кора вивітрювання, а також осадові відклади палеозойської, мезозойської та кайнозойської ер [8]. Кристалічні породи виходять на поверхню лише локально, зокрема в межах Вовчанського виступу.

Відклади кам'яновугільної системи поширені в межах Дніпровсько-Донецької западини. Мезозойські відклади (тріасові та юрські) представлені піщано-гальковими породами і залягають на глибині 38–42 м. Вони перекриваються відкладами палеогену (бучацька, київська, харківська світи) загальною потужністю 28–33 м [9].

Четвертинні відклади перекривають більш давні породи суцільним чохлам потужністю 3,0–9,2 м і представлені алювіальними та еолово-делювіальними утвореннями [9].

Алювіальні відклади поширені в долині річки Самара і представлені кварцовими різнозернистими пісками з прошарками супісків і суглинків. Їх потужність досягає 9,2 м. Еолово-делювіальні відклади представлені лесовими суглинками, які характеризуються значною поширеністю та відносною однорідністю складу [9].

У гідрогеологічному відношенні на території виділяються три основні водоносні горизонти: четвертинний, палеогеновий та тріасовий, що мають практичне значення для водопостачання [10].

Четвертинний водоносний горизонт приурочений до піщаних відкладів потужністю 7–9 м і є безнапірним. Живлення горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і поверхневих вод. Води характеризуються підвищеною мінералізацією (1,5–3 г/дм³) і значною жорсткістю, що обмежує їх використання для питного водопостачання [10].

Палеогеновий водоносний горизонт приурочений до пісків і піщаників потужністю 28–33 м. Води мають підвищену жорсткість і середню мінералізацію, що також обмежує їх використання без додаткової підготовки [10].

Тріасовий водоносний горизонт пов'язаний із піщано-гальковими відкладами і є напірним. Він характеризується стабільними дебітами (2,2–5,5 л/с) та кращими якісними показниками води. За хімічним складом води відповідають вимогам до питної води відповідно до чинних санітарних норм [11], що робить цей горизонт найбільш перспективним для водопостачання.

1.3 Клімат

Територія проектування розташована в межах степової природно-кліматичної зони, для якої характерний помірно континентальний клімат. Його особливостями є тривале спекотне й посушливе літо та відносно м'яка зима, що супроводжується частими відлигами. Розміщення об'єкта в межах Краматорського району зумовлює додатковий вплив урбанізованого середовища, рельєфу та висотних відміток місцевості, що спричиняє локальні варіації температурного режиму та повітряної циркуляції [12].

Формування кліматичних умов відбувається під впливом різних повітряних мас: вологих атлантичних, холодних арктичних і континентальних, які надходять з території Євразії. У зимовий період спостерігається активізація циклонічної діяльності, що призводить до нестійких погодних умов. Початок зими зазвичай пов'язаний із вторгненням холодного арктичного повітря та встановленням областей підвищеного атмосферного тиску. Водночас часті відлиги зумовлені надходженням тепліших повітряних мас із Атлантики та південних широт.

Кліматичні умови території характеризуються відносно м'якою та короткотривалою зимою, формування якої значною мірою визначається активною циклонічною діяльністю. Початок зимового сезону, що зазвичай припадає на кінець

листопада – початок грудня, супроводжується переважанням хмарної погоди, частими туманами та випадінням опадів переважно у вигляді снігу й мокрого снігу. Упродовж зимового періоду можливі хуртовини різної інтенсивності, що зумовлюють перерозподіл снігового покриву.

Весняний період пов'язаний із надходженням теплих повітряних мас південного та західного походження. Весна спочатку встановлюється у південних районах (Приазов'я), поступово поширюючись у північному напрямку. Для цього сезону характерна нестійкість погодних умов: після підвищення температури повітря нерідко спостерігаються короткочасні похолодання, спричинені вторгненням арктичного повітря. Навесні часто виникають сильні східні вітри, які інтенсивно висушують верхній шар ґрунту, що створює передумови для розвитку посушливих явищ, суховіїв і пилових бур.

Літо відзначається високими температурами повітря та недостатнім зволоженням. Опади в цей період мають переважно зливовий характер і розподіляються нерівномірно. Наприкінці літа спостерігається поступове зниження температури, інколи до $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче, що свідчить про перехід до осіннього сезону.

Осінь характеризується поступовим зменшенням температурного фону та зростанням впливу циклонічної циркуляції атмосфери. У цей період часто формуються тумани, збільшується кількість опадів, хоча можливі тривалі відрізки теплої погоди з температурами повітря до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Надалі відбувається стабільне похолодання, і вже на початку жовтня зазвичай фіксуються перші заморозки на поверхні ґрунту.

Середньобагаторічна температура повітря становить близько $+8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Найвищі температури спостерігаються в літній період: абсолютний максимум температури повітря у липні може досягати $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, тоді як абсолютний мінімум у зимовий період (січень–лютий) опускається до $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ [12].

Загальна тривалість без морозного періоду в північній частині області – до 172 днів, а у південній – до 198 днів.

Середньорічна кількість атмосферних опадів становить близько 565 мм, з яких приблизно 332 мм припадає на теплий період року (квітень–жовтень), а 233

мм – на холодний (листопад–березень) [12]. Розподіл опадів протягом року є нерівномірним: їх максимум спостерігається у літні місяці, тоді як мінімальні значення характерні для зимового періоду (січень–лютий).

На території Донецької області переважають рідкі атмосферні опади: близько 76–82 % їх загальної кількості випадає у вигляді дощу, тоді як частка снігових опадів становить лише 18–24 %. За умовами зволоження регіон належить до зони недостатнього природного водозабезпечення. У теплий період року опади мають переважно зливовий, короткочасний характер, тоді як у зимовий сезон вони здебільшого є тривалими та рівномірними. Найбільша кількість опадів спостерігається у травні–липні, а також у вересні–жовтні.

Сніжний покрив нестійкий і характеризується значною мінливістю як за висотою, так і за тривалістю залягання. Середня тривалість збереження снігового покриву становить близько 70–90 днів, а його висота зазвичай коливається в межах 3–8 см [12]. У окремі роки можливі значні відхилення цих показників, аж до повної відсутності стійкого снігового покриву.

Середня глибина сезонного промерзання ґрунту становить близько 0,5 м, при цьому максимальна глибина може досягати 1,1 м у суворі зими [12]. Цей показник є важливим при проектуванні інженерних споруд, зокрема водопровідних мереж і свердловин.

Вітровий режим характеризується переважанням східних та північно-східних вітрів у зимовий період і східних – у весняний [12]. Середньобагаторічна швидкість вітру становить близько 5 м/с, тоді як максимальні значення можуть досягати 20 м/с, що необхідно враховувати при організації будівельних робіт і експлуатації споруд.

Загалом кліматичні умови району є відносно сприятливими для будівництва та експлуатації систем водопостачання, однак потребують врахування сезонних коливань температури, промерзання ґрунтів та нерівномірного розподілу опадів.

2. ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ВОДОЗАБІРНОЇ СВЕРДЛОВИНИ

2.1 Передумови та актуальність будівництва об'єктів критичної інфраструктури

Критична інфраструктура є основою функціонування держави та життєзабезпечення населення. Вона охоплює об'єкти енергетики, транспорту, зв'язку, охорони здоров'я та інженерні мережі, порушення роботи яких може спричинити значні соціально-економічні наслідки. Забезпечення їхньої стійкості та безпеки є одним із ключових напрямів державної політики [13].

Повномасштабна війна з 2022 року призвела до значних руйнувань інфраструктури, особливо у східних і південних регіонах України. Це спричинило порушення роботи систем життєзабезпечення та зумовило потребу у відновленні або новому будівництві об'єктів.

Держава впроваджує комплекс заходів для захисту й відновлення критичної інфраструктури, зокрема підвищення її стійкості, створення резервних систем і впровадження сучасних інженерних рішень. Важливого значення набувають надійність, автономність і адаптивність інженерних споруд [14].

Відновлення інфраструктури є пріоритетом державної політики у воєнний і післявоєнний періоди та реалізується за підтримки міжнародних програм. Сучасний підхід базується на концепції Build Back Better, яка передбачає не лише відновлення, а й модернізацію об'єктів відповідно до сучасних стандартів безпеки [15].

Донецька область зазнала значних руйнувань, що призвело до погіршення стану інженерних мереж і нестабільності їх функціонування. Для громад Краматорського району характерні знос інфраструктури, пошкодження мереж, підвищені аварійні ризики та потреба в автономних рішеннях.

У таких умовах нове будівництво є більш ефективним, ніж відновлення застарілих систем, оскільки забезпечує сучасні технічні параметри та вищий рівень безпеки. Стабільність функціонування громад залежить від надійності інженерних споруд, особливо в умовах воєнних загроз.

Будівництво нового водозабору дозволить підвищити інженерну незалежність населеного пункту, забезпечити безперервність водопостачання, зменшити ризики аварій та підвищити рівень безпеки. Також це дає змогу впровадити енергоефективні технології, автоматизацію та системи дистанційного контролю.

Отже, будівництво водозабору є важливим кроком для забезпечення стабільної життєдіяльності громади та відповідає державним пріоритетам відновлення і підвищення стійкості критичної інфраструктури.

2.2 Вибір та обґрунтування місця розташування артезіанських свердловин

Водозабірна споруда призначена для забезпечення господарсько-питного водопостачання селища Олександрівка Краматорського району Донецької області.

Відповідно до наявних фондових матеріалів і результатів гідрогеологічних досліджень, як експлуатаційний прийнято водоносний горизонт, приурочений до тріщинуватих пісковиків палеогенових відкладів. Вибір даного горизонту обумовлений його поширенням у межах досліджуваної території, достатніми водоносними властивостями та відносно стабільними якісними характеристиками підземних вод.

Місце розташування проєктованої артезіанської свердловини обґрунтовано на основі аналізу фондових матеріалів, даних щодо літолого-гідрогеологічної будови ділянки, а також результатів польового обстеження території. Обрана ділянка характеризується сприятливими умовами для розкриття водоносного горизонту та подальшої експлуатації свердловини.

Згідно з наявними даними, глибина проєктованої свердловини становитиме 73 м. Очікуваний дебіт кожної свердловини – до 10,0 м³/год при зниженні рівня води до 8,0 м, що відповідає потребам водопостачання населеного пункту.

Конструкція свердловин прийнята з урахуванням інженерно-геологічних і гідрогеологічних умов території та передбачає: ефективне розкриття водоносного горизонту з мінімальними гідравлічними втратами у прифільтрової зоні; надійну ізоляцію водоносних шарів із різними фізико-хімічними характеристиками вод; відповідність водоприймальної частини свердловини розрахунковому дебіту та параметрам насосного обладнання; узгодженість діаметра обсадних колон із габаритами насосного устаткування; раціональність конструкції з точки зору матеріалоемності та технологічності виконання; забезпечення надійної та безпечної експлуатації з можливістю проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Параметри свердловини визначено з урахуванням даних паспорта існуючої артезіанської свердловини, розташованої поблизу, а також узагальнених фондових матеріалів.

Геолого-літологічний розріз та розподіл порід по категоріях буримості для проєктованої артезіанської свердловини наведений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. - Геолого-технічний розріз свердловини

№ шару	Геологічний індекс	Літологічний опис шару	Інтервал залягання, м		Потужність шару, м	Категорія порід по буримості
			від	до		
1.	e_{IV}	Грунтово-рослинний шар	0,0	1,0	1,0	I
2.	vd_{II-III}	Суглинок жовто-бурий	1,0	14,2	13,2	II
3.	N_I	Глина сіро-зелена	14,2	32,9	18,7	III
4.	P_{3hr}	Пісковик зелений глауконітовий міцний тріщинуватий водонасичений	32,9	71,5	38,6	IV
5.	P_{3hr}	Глина сіра піскувата	71,5	73,0	1,5	III

Остаточна оцінка якості підземних вод буде здійснена після буріння та дослідно-фільтраційних випробувань свердловин. У разі невідповідності показників

якості води вимогам [11] необхідно передбачити впровадження додаткових заходів із водопідготовки (доочищення) на наступних етапах реалізації проєкту.

Таким чином, вибір місця розташування та експлуатаційного водоносного горизонту є технічно обґрунтованим і забезпечує надійне та стабільне водопостачання населеного пункту.

2.3 Обґрунтування конструкції фільтра свердловини

Проектування конструкції фільтра артезіанської свердловини є одним із ключових етапів забезпечення її надійної та довготривалої експлуатації. Вибір типу, конструкції та параметрів фільтра здійснюється з урахуванням гідрогеологічних умов водоносного горизонту, фізико-механічних властивостей порід, а також вимог чинних нормативних документів [6].

У межах даного проєкту водоносний горизонт приурочений до пісковиків зелених глауконітових, міцних, тріщинуватих і водонасичених. Такі породи характеризуються наявністю системи тріщин, які відіграють основну роль у фільтрації підземних вод. На відміну від пухких піщаних відкладів, де фільтрація відбувається через поровий простір, у тріщинуватих пісковиках водопріплив забезпечується переважно по тріщинах, що суттєво впливає на вибір конструкції фільтра [17].

Відповідно до вимог [6], конструкція водозабірних свердловин повинна забезпечувати стабільний приплив води, запобігати надходженню механічних домішок і виключати можливість обвалення стінок свердловини. У випадку тріщинуватих скельних порід застосування традиційних сітчастих або щілинних фільтрів із гравійною обсіпкою часто є недоцільним або обмеженим.

З урахуванням геолого-гідрогеологічних умов, для даної свердловини доцільно застосувати відкритий стовбур у продуктивному інтервалі або перфоровану обсадну колону (фільтр каркасного типу). Такий підхід обґрунтовується наступним.

По-перше, пісковики є достатньо міцними породами, що здатні зберігати стійкість стінок свердловини без додаткового кріплення. Це дозволяє використувати конструкцію з відкритим вибійним інтервалом, яка забезпечує максимальний гідравлічний зв'язок із водоносним горизонтом і мінімальні гідравлічні втрати [17].

По-друге, наявність тріщинуватості забезпечує природну фільтрацію води, що значно зменшує ризик винесення дрібнодисперсних частинок у свердловину. Таким чином, необхідність у влаштуванні гравійної обсіпки відпадає або є мінімальною [18].

Разом із тим, з метою підвищення експлуатаційної надійності свердловини та запобігання локальним обвалам у зонах ослабленої тріщинуватості, доцільно передбачити встановлення перфорованої обсадної труби в межах продуктивного горизонту. Перфорація забезпечує надходження води через отвори, рівномірно розподілені по довжині фільтра, при цьому зберігається достатня міцність конструкції [18].

Оптимальні параметри фільтра визначаються з урахуванням дебіту свердловини та гідравлічних характеристик горизонту. Площа відкритих отворів повинна забезпечувати швидкість входу води не більше 0,01–0,03 м/с, що відповідає рекомендаціям для водозабірних свердловин і дозволяє зменшити гідравлічні втрати та запобігти кольматації [17].

Матеріал фільтра повинен бути стійким до корозії та хімічного впливу підземних вод. Найбільш доцільним є використання сталевих або пластикових (ПВХ) обсадних труб із відповідними антикорозійними властивостями. Вибір матеріалу здійснюється з урахуванням хімічного складу води та умов експлуатації [6].

Довжина фільтрової частини свердловини визначається потужністю водоносного горизонту та повинна забезпечувати залучення максимальної товщі водоносних порід до роботи. Як правило, фільтр встановлюється на всю потужність продуктивного пласта або на його найбільш водоносну частину [17].

З метою забезпечення ефективної роботи свердловини після її спорудження передбачається проведення комплексу освоювальних робіт (промивка, прокачка), що дозволяє очистити привибійну зону від бурового шламу та підвищити водовіддачу [18].

Таким чином, для умов залягання тріщинуватих глауконітових пісковиків найбільш раціональною є конструкція свердловини з перфорованим фільтром без гравійної обсіпки. Така конструкція забезпечує ефективний водоприплив, високу надійність і тривалий термін експлуатації свердловини, що повністю відповідає вимогам чинних нормативних документів, зокрема табл. Б.1 [6].

Трубчасті фільтри зі щілинною перфорацією (рис. 2.1) – це труби, у стінках якої виконані водоприймальні отвори у вигляді вузьких щілин. Такі конструкції широко застосовуються у водозабірних свердловинах для приймання підземних вод і запобігання надходженню механічних домішок разом із водним потоком [6].

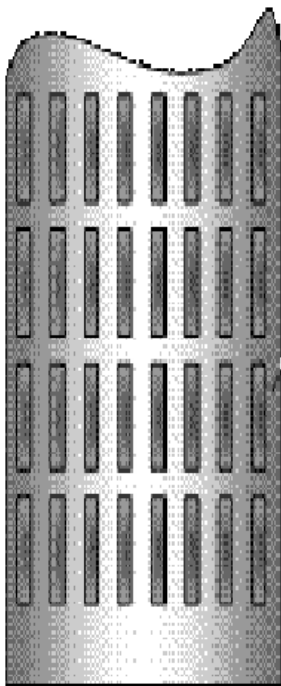


Рисунок 2.1 – Конструкція водоприймальної частини свердловини

Довжину щілин приймаємо – 100 мм. Відстань між щілинами у вертикальному напрямку становить 20 мм, а в горизонтальному – приблизно 10а, де а – ширина щілини. Оптимальне розташування водоприймальних отворів забезпечує

рівномірний приплив води та зменшує гідравлічні втрати під час роботи свердловини [19].

Щілини рекомендується виконувати трапецеїдальної форми з розширенням у внутрішній бік труби. Така конструкція запобігає заклинюванню частинок ґрунту або породи у фільтраційних отворах і сприяє самоочищенню фільтра в процесі експлуатації [6].

Для виготовлення трубчастих фільтрів доцільно використовувати сталеві обсадні труби, які характеризуються достатньою механічною міцністю, стійкістю до навантажень та довговічністю в умовах роботи водозабірних споруд [20].

Шпаруватість (коефіцієнт відкритої площі) трубчастих фільтрів рекомендується приймати в межах 20–25 %, що забезпечує необхідну водоприймальну здатність фільтра та ефективність його роботи без надмірного винесення частинок водоносної породи [19].

3 РОЗРАХУНОК ФІЛЬТРА СВЕРДЛОВИНИ

У даному розділі виконуються необхідні інженерні розрахунки, спрямовані на обґрунтування параметрів водоприймальної частини свердловини з урахуванням прийнятої конструкції та гідрогеологічних умов ділянки. Результати розрахунків дозволяють забезпечити раціональне використання водоносного горизонту, стабільну роботу водозабору та відповідність проєктних рішень чинним нормативним вимогам.

3.1 Вибір діаметра і довжини водоприймальної частини свердловини

Надійна та ефективна робота водозабірної свердловини значною мірою визначається правильністю проєктування її водоприймальної частини. Саме ця частина забезпечує безпосередній гідравлічний зв'язок свердловини з водоносним горизонтом і визначає величину дебіту, стабільність роботи та довговічність експлуатації споруди.

Розрахунок водоприймальної частини свердловини включає визначення її конструктивних параметрів, зокрема довжини фільтра, діаметра, площі водоприймальної поверхні, а також швидкості входу води у свердловину. При цьому враховуються гідрогеологічні умови району, тип і властивості водоносних порід, режим роботи свердловини та необхідний експлуатаційний дебіт.

Особливе значення має забезпечення оптимальних гідравлічних умов роботи свердловини, за яких мінімізуються втрати напору та запобігається винесенню механічних домішок із водоносного горизонту. Невірно прийняті параметри водоприймальної частини можуть призвести до швидкого замулення, зниження продуктивності або передчасного виходу свердловини з експлуатації.

З огляду на те, що потужність водоносного горизонту перевищує 15 м, водоприймальну частину свердловини доцільно проєктувати з відносно невеликим

діаметром. Значна товщина пласта забезпечує достатню площу надходження води навіть за меншого поперечного перерізу.

Практика буріння та облаштування водозабірних свердловин свідчить, що геометричні параметри фільтра, зокрема його діаметр, істотно впливають на експлуатаційні показники, передусім на дебіт. Збільшення діаметра фільтра сприяє зменшенню гідравлічних втрат у привибійній зоні, покращує умови фільтрації та знижує швидкість руху води через фільтрувальну поверхню.

Досвід експлуатації показує, що при збільшенні діаметра фільтра зі 100 до 200 мм дебіт свердловини зростає приблизно на 10–20 %. Водночас розрахунки демонструють, що суттєве підвищення дебіту потребує значно більшого збільшення діаметра, що свідчить про обмежений вплив цього параметра.

Отже, діаметр фільтра є лише одним із чинників, що визначають продуктивність свердловини, і має розглядатися у комплексі з іншими інженерними та гідрогеологічними рішеннями.

З урахуванням проєктного дебіту та умов залягання водоносного горизонту приймаємо діаметр водоприймальної частини свердловини $d = 140$ мм. Довжину робочого інтервалу визначаємо розрахунковим шляхом.

Розрахунок виконують за залежністю

$$d = Q/\pi \cdot L \cdot V_{\phi}, \quad (3.1)$$

де Q —дебіт свердловини, м³/доб;

V_{ϕ} —допустима швидкість фільтрації води біля стінки водоприймальної частини (фільтра), м/доб

$$V_{\phi} = 36 \cdot \sqrt{K_{\phi}}, \quad (3.2)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації, м/доб. За даними фондових матеріалів, водоносний горизонт складається зі стійких тріщинуватих порід із коефіцієнтом фільтрації 1,0 – 10,0 м/добу. За фондовими даними приймаємо 3 м/доб.

d – діаметр водоприймальної частини, м;

L – довжина робочої частини, м.

Довжина робочої частини фільтра визначається з урахуванням потужності водоносного горизонту m , коефіцієнта фільтрації порід K_{ϕ} , дебіту свердловини $Q_{\text{макс}}$, а також конструктивних особливостей самого фільтра.

Для водоносних пластів із потужністю до 10 м довжину фільтра рекомендується приймати згідно з нормативами 9.1.2.16 [6]

$$L = m - (1 - 2), \quad (3.3)$$

У випадку більш потужних пластів довжину визначають за формулою [хом]

$$L = \alpha \cdot m, \quad (3.4)$$

де коефіцієнт $\alpha = 0,5 - 0,8$.

З огляду на те, що потужність водоносного пласта становить 38,6 м, довжина робочої частини фільтра дорівнюватиме

$$L = 0,7 \cdot 38,6 = 27 \text{ м.}$$

$$V_{\phi} = 36 \cdot \sqrt{3,0} = 63,25 \frac{\text{м}}{\text{доб}}.$$

Тоді діаметр фільтра складе

$$D = \frac{480}{\pi \cdot 27 \cdot 63,25} = 0,089 \text{ м.}$$

Розрахунковий діаметр фільтра свердловини становить 89 мм. Однак при проєктуванні водозабірних свердловин фактичний діаметр фільтра, як правило, приймають більшим за 100 мм, що пояснюється конструктивними та експлуатаційними вимогами [6].

Отже, приймаємо діаметр фільтра свердловини 140 мм.

Водопроникна здатність фільтра не повинна бути нижче, ніж запроектований дебіт, має виконуватись умова

$$f \geq Q \quad (3.5)$$

В свою чергу

$$f = V_{\phi} \cdot F, \quad (3.6)$$

де F – робоча поверхня фільтра, м^2 .

$$F_{\phi} = \pi \cdot D_{\phi} \cdot l_{\phi}, \quad (3.7)$$

де D_{ϕ} – діаметр фільтра, м;

l_{ϕ} – довжина робочої частини фільтра, м.

$$f = 63,25 \cdot \pi \cdot 0,14 \cdot 27 = 751 \frac{\text{м}^3}{\text{доб}}.$$

Таким чином, отримано співвідношення $751 \geq 480$, що підтверджує виконання необхідної умови. Отже, розрахункові параметри забезпечують досягнення заданого проєктного дебіту свердловини.

Діаметри відстійника і надфільтрової труби дорівнюють діаметру фільтра.

У даному проєкті передбачено влаштування фільтрової колони загальною довжиною 73,5 м. Довжина її робочої частини становить 27 м, а відстійника – 2 м. При цьому верх фільтрової колони розташовується на 0,5 м вище рівня поверхні землі.

3.2 Розрахунок зниження рівня води в свердловині

Максимально допустиме зниження рівня $H_{дон}$ (рис. 3.1) для напірних вод зазвичай приймається в межах 50–70 % від загальної потужності водоносного пласта і може бути визначене за формулою (3.8). Таке обмеження обумовлене необхідністю запобігання надмірному виснаженню водоносного горизонту, погіршенню фільтраційних властивостей порід та порушенню умов сталого водозабору.

$$H_{дон} = H - (0,3 - 0,5) \cdot m - H_n - H_\phi, \quad (3.8)$$

де H – напір над кривою пласта (статичний рівень до початку відкачок), м;

H_n – максимальна глибина занурення нижньої частини насоса (водоприймальної частини) відносно динамічного рівня води в свердловині, м;

H_ϕ – втрати напору на вході у свердловину (опір фільтра та порід прифільтрової зони), які зазвичай приймають у межах 3–5 м;

m – потужність водоносного пласта, м.

Схема до розрахунку допустимого зниження води в свердловині представлена на рис.3.1.

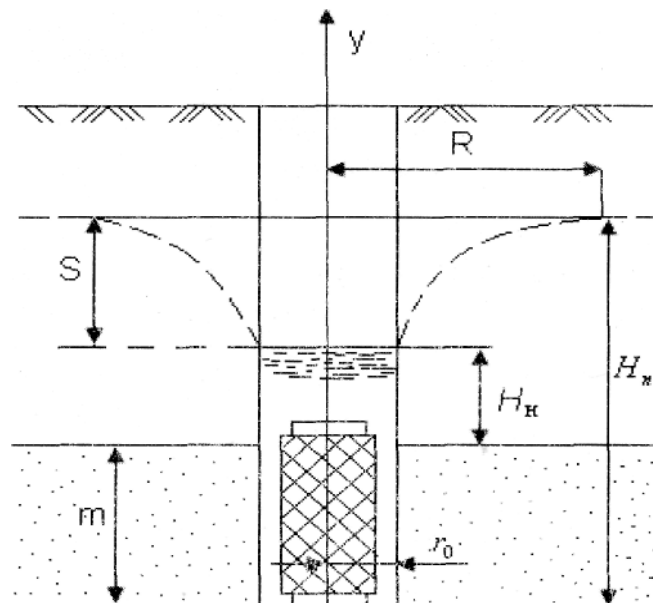


Рисунок 3.1 – Схема до розрахунку допустимого зниження води в свердловині.

$$H_{don} = 27,9 - 0,5 \cdot 38,6 - 1,5 - 3 = 4,1 \text{ м.}$$

Дотримання допустимого зниження рівня є важливою умовою надійної експлуатації свердловини, оскільки перевищення цього значення може призвести до зниження дебіту, підвищення енерговитрат на підйом води, а також до можливого порушення гідродинамічної рівноваги в пласті.

Експлуатаційне зниження статичного рівня при відборі розрахункової кількості води з водоносного пласта з віддаленими межами області живлення визначають за аналітичними залежностями усталеного радіального фільтраційного потоку. Зокрема, для умов напірного горизонту воно може бути розраховане за формулою типу Тіма–Дюпюї:

$$S = \frac{Q(\ln R/r + E)}{2\pi \cdot K_{\phi} \cdot m}, \quad (3.9)$$

де Q – дебіт свердловини, м³/доб;

R – радіус впливу свердловини, який змінюється в залежності від складу порід водоносного пласта. Приймаємо 150 м.;

r – радіус свердловини, м;

K_{ϕ} – коефіцієнт фільтрації, м/доб;

E – коефіцієнт, який враховує фільтраційний опір, викликаний недосконалістю свердловини (рис.3.2) і залежить від відношень l/m і m/r , від довжини водоприймальної частини свердловини l та потужності водоносного пласта m , а також потужності m та радіуса свердловини r [21].

$$S = \frac{480 \cdot (\ln 200/0,07 + 2)}{2\pi \cdot 3 \cdot 38,6} = 6,56 \text{ м.}$$

У подальших розрахунках приймаємо розрахункове зниження рівня води в свердловині 7 м, враховуючи додатковий запас. Такий підхід дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію свердловини, а також компенсувати можливі коливання дебіту та непередбачувані втрати напору у фільтровій та привибійній зонах.

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що експлуатаційне пониження рівня води у свердловині перевищує допустиме значення. Це свідчить про те, що прийнятий проєктний дебіт водозабору не відповідає встановленим вимогам.

У зв'язку з цим виникає необхідність збільшення кількості експлуатаційних свердловин із подальшою перевіркою виконання умови $S < S_{\text{доп}}$.

Кількість експлуатаційних свердловин приймаємо – 2, а отже розрахунковий дебіт кожної становитиме 240 м³/добу. Тоді експлуатаційне зниження рівня води в свердловині складатиме

$$S = \frac{240 \cdot (\ln 200/0,07 + 2)}{2\pi \cdot 3 \cdot 38,6} = 3,28 \text{ м.}$$

Встановлено, що за прийнятих умов експлуатаційне пониження рівня води у свердловині не перевищує допустимого значення, тобто виконується умова $S \leq S_{\text{доп}}$, що забезпечує можливість отримання розрахункового дебіту водозабору.

З урахуванням цього, для забезпечення заданої витрати води проєктом передбачається влаштування водозабору, який включає дві робочі свердловини. Додатково, відповідно до вимог табл.10.1 [6], приймається одна резервна свердловина.

Розрахунок параметрів водозабору виконується для однієї свердловини, при цьому конструкція та технічні характеристики інших свердловин приймаються аналогічними.

3.3 Підбір насосного обладнання свердловини

За результатами розрахунків діаметр експлуатаційної обсадної колони визначено як 140 мм. Колона виготовлена з пластикових труб із товщиною стінки 9 мм, що забезпечує внутрішній діаметр близько 122 мм. Виходячи з цього, зовнішній діаметр насоса не повинен перевищувати 4 дюйми (101,6 мм).

Монтаж насосного обладнання залежить від його конструктивних особливостей. Занурювальні насоси встановлюються в обсадних трубах, внутрішній діаметр яких відповідає номінальному діаметру насоса. Для насосів із приводом на гирлі свердловини необхідно передбачати додатковий запас діаметра труби для безпечного монтажу.

При підборі обладнання для тривалої експлуатації слід враховувати взаємодію всієї системи «свердловина – насос – водопровідна мережа», оскільки це впливає на ефективність водозабору та стабільність роботи свердловини.

Для виконання будівельних і дослідних відкачок застосовуються допоміжні установки, зокрема ерліфти та водоструминні насоси, що забезпечують контрольовані режими роботи на етапі випробувань.

Остаточний вибір марки та типу насоса здійснюється на основі розрахункового дебіту свердловини – 240 м³/добу та напору, який він має забезпечувати під час експлуатації.

Розрахунок потрібного напору ведемо за формулою

$$H_n = S + H_{ст.р} + H_\phi + h_{в.т} + \sum h + \Delta Z, \quad (3.3)$$

де S – розрахункове зниження рівня води в свердловині, м;

$H_{ст.р}$ – глибина статичного рівня від поверхні землі, м;

H_ϕ – потрібний напір біля резервуара ($H_\phi = 0,5 - 1$ м), м;

$h_{в.т}$ – втрати напору у водопідйомних трубах, м;

$\sum h$ – втрати напору у водоводі від свердловини до резервуару, м;

ΔZ – геодезична висота подачі, м.

$$H_n = 3,3 + 5 + 1 + 1,1 + 10,9 + 54 = 75,3 \text{ м.}$$

Втрати напору у водопідйомних та магістральних трубопроводах можна визначати за таблицями Шевелєвих

$$\sum h = 1000i \cdot l \cdot (1,05 - 1,10), \quad (3.4)$$

$$\sum h = 7,2 \cdot 1,37 \cdot 1,1 = 10,9 \text{ м.}$$

Довжину водопідйомних труб визначають як суму розрахункового зниження рівня води в свердловині, занурення насоса під динамічний рівень та глибини статичного рівня від поверхні землі.

При багаторічній експлуатації свердловини необхідно враховувати втрати напору при експлуатації за рахунок осада на внутрішній поверхні труб в розмірі 5-8 % від манометричного напору.

Максимальний дебіт свердловини визначений у розмірі 10 м³/год.

Для прийнятих умов рекомендується обладнати свердловину глибинним насосом TM SUVER SVP 4012/19 фірми «Yildizsu» (рис.3.2) [22].

Вода зі свердловини відбирається за допомогою напірних поліетиленових труб ПЕ-100 діаметром 32 мм, тип SDR 11.

Подача води насосом із витратою, що перевищує максимально допустиму за паспортними характеристиками, забороняється, оскільки це може призвести до пошкодження робочих коліс насоса та виходу з ладу електродвигуна. Під час роботи насос повинен підтримувати тиск, не нижчий за мінімально допустимий, зазначений у його технічній характеристиці.

Свердловина передбачається до експлуатації в автоматичному режимі з роботою на водонапірну башту.

Глибина занурення насоса приймається такою, щоб верхня частина всмоктувальної сітки знаходилася на 1,5 м нижче динамічного рівня води.

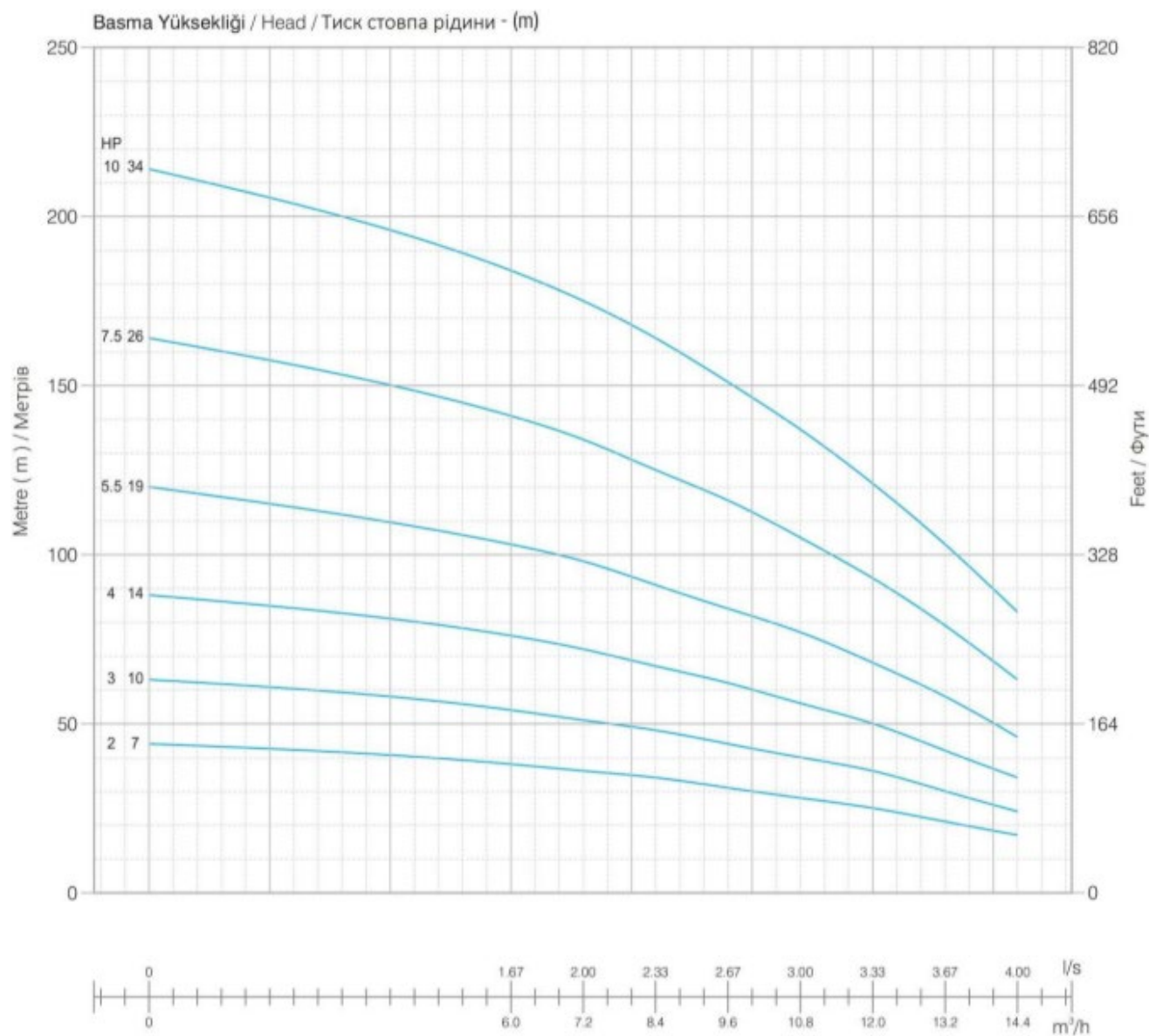


Рисунок 3.2 – Напірно-витратна характеристика насоса.

4. КОНСТРУКЦІЯ І КРІПЛЕННЯ СВЕРДЛОВИН

4.1. Проектування конструкції свердловини

Конструкція свердловини - це технічна схема її спорудження, що відображає зміну діаметрів буріння залежно від глибини, параметри обсадних колон (діаметри та глибини їх встановлення), а також інтервали і технології тампонування затрубного простору [1].

Вибір конструкції здійснюється на основі комплексу вихідних даних, до яких належать фізико-механічні властивості порід геологічного розрізу, наявність зон можливих ускладнень (обвалення, водопрояви, поглинання бурового розчину), цільове призначення свердловини, спосіб буріння, її проєктна глибина, профіль і кінцевий діаметр [2].

Проектування виконується, як правило, у напрямку знизу догори та включає визначення кінцевого діаметра свердловини, встановлення інтервалів переходу на більші діаметри, обґрунтування глибин спуску обсадних колон, призначення інтервалів їх цементування, а також узгодження параметрів буріння з конструкцією колон [3].

Кінцевий діаметр буріння обирається після встановлення проєктної глибини свердловини з урахуванням необхідності відбору репрезентативних проб, проведення геофізичних і гідрогеологічних досліджень та виконання інших передбачених робіт [1; 4].

Проектна глибина свердловини становить 73 м, що обумовлює доцільність застосування роторного способу буріння. Вибір цього методу здійснено з урахуванням нормативних рекомендацій (Додаток Б [6]) та інженерно-геологічних умов ділянки. Роторне буріння забезпечує ефективне проходження порід різної міцності та дозволяє отримати стовбур свердловини необхідного ді-

метра з належною якістю стінок. Обертальне буріння свердловин із прямою промивкою (рис. 4.1) може виконуватися із застосуванням глинистого бурового розчину.

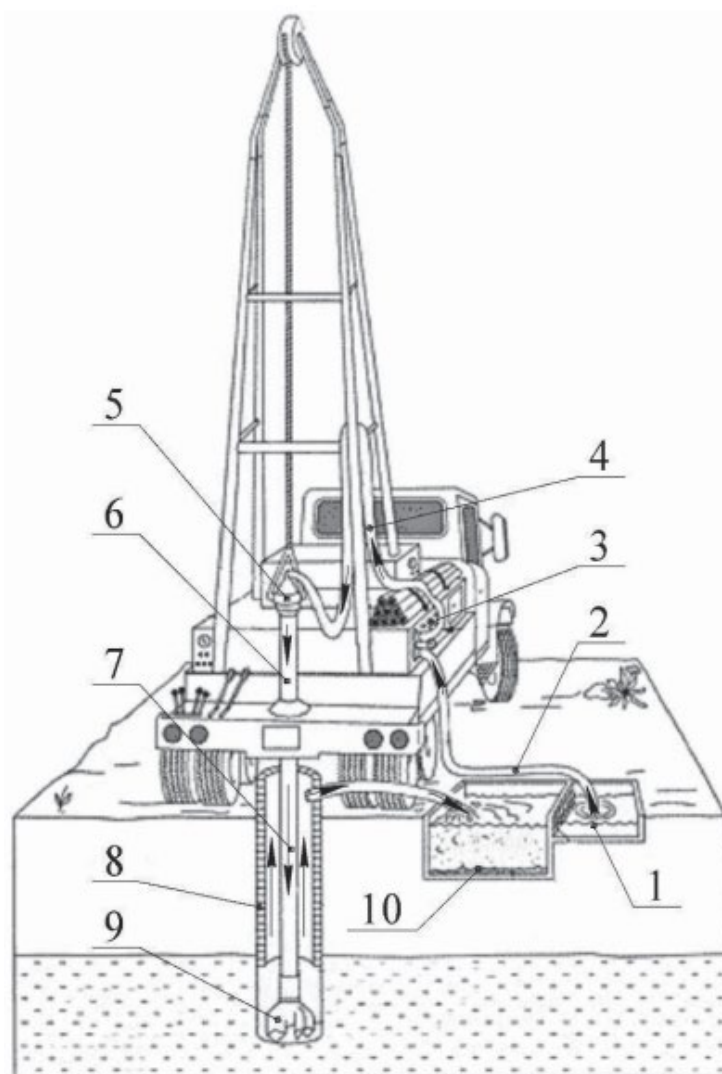


Рисунок 4.1 – Загальна схема буріння свердловини роторним способом із прямим промиванням: 1 – ємність з очищеним буровим розчином; 2 – всмоктувальна магістраль; 3 – буровий насос; 4 – нагнітальна магістраль; 5 – сальниквертлюг; 6 – ведуча труба; 7 – колона бурильних труб; 8 – обсадная труба; 9 – долото; 10 – відстійник.

Використання глинистого розчину доцільне під час розкриття та подальшого освоєння потужних водоносних горизонтів. У таких умовах забезпечується ефективне очищення привибійної зони та відновлення фільтраційних властивостей пласта, що робить процес розколюматції надійним і технологічно обґрунтованим.

Параметри початкового та кінцевого діаметрів визначаються з урахуванням сортаменту обсадних труб, прийнятої технології буріння, конструкції водоприймальної частини та габаритів насосного обладнання. Стійкість стінок забезпечується встановленням обсадних колон.

Верхня обсадна колона найбільшого діаметра – кондуктор – призначена для закріплення нестійких порід приповерхневої зони та ізоляції верхніх водоносних горизонтів. Вона виконує допоміжну функцію і не входить до складу експлуатаційної колони.

Під час проектування доцільно застосовувати максимально просту конструкцію з мінімально необхідною кількістю обсадних колон, забезпечуючи при цьому надійність кріплення стовбура та ефективну ізоляцію окремих інтервалів.

Розрахунок конструкції здійснюється послідовно – від водоприймальної частини до гирла свердловини. Завершальним етапом є визначення параметрів кондуктора з урахуванням умов верхньої частини геологічного розрізу.

Діаметр долота для буріння водоприймальної частини свердловини є одним із ключових параметрів при проектуванні її конструкції, оскільки він визначає можливість розміщення фільтра, обсадних колон та забезпечення необхідного гідравлічного зазору. Зазвичай його визначають на основі геометричних параметрів обсадної колони або фільтра та величини технологічного зазору.

У загальному випадку діаметр долота визначають за формулою

$$d_{вч} = d_{\phi} + 2\delta, \quad (4.1)$$

де d_{ϕ} – діаметр фільтра, мм.

δ – радіальний зазор між стінками свердловини та фільтром, мм.

Такий підхід забезпечує вільне опускання колони та створення умов для якісної експлуатації свердловини. Значення зазору δ приймається залежно від діаметра колони і умов буріння та, як правило, знаходиться в межах 10–50 мм [6]. Більші значення зазору приймають для фільтрів з обсипкою, а менші без обсипки.

У даній роботі передбачено використання фільтра без обсіпки, що не потребує додаткового простору для розміщення фільтрувального матеріалу. З огляду на це, прийнято мінімальне значення $\delta = 10$ мм.

$$d_{\text{вч}} = 140 + 2 \cdot 10 = 160 \text{ мм.}$$

Діаметр долота для буріння водоприймальної частини $d_{\text{вч}}^{\text{б}}$ визначають за [23].

Для буріння інтервалу 36,0 – 76,0 м обрано роторний спосіб буріння з прямим промиванням слабоглинистим буровим розчином із використанням долота діаметром 161 мм типу III 161 ТК-Ц [18]. Конструкція тришарошечного долота наведена на рис.4.2.



Рисунок 4.2 - Схема тришарошкового долота

Внутрішній діаметр експлуатаційної колонки визначають із умови наявності зазору між долотом і колоною

$$d_{\text{ек}}^{\text{б}} = d_{\text{вч}}^{\text{б}} + (6...8). \quad (4.2)$$

$$d_{\text{ек}}^{\text{б}} = 161 + 7 = 168 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр експлуатаційної колони уточнюється відповідно до [25].

У даній роботі прийнято обсадну трубу з нПВХ із такими параметрами: зовнішній діаметр – 200 мм, внутрішній діаметр – 186 мм, товщина стінки – 7 мм, довжина однієї труби – 3 м [25].

З'єднання елементів колони передбачається різьбове, що забезпечує герметичність та надійність конструкції під час монтажу й експлуатації.

Діаметр долота для буріння під колону обсадних труб вибирають за її зовнішнім діаметром

$$d_{ек}^{\partial} = d_{ек}^M + 2\delta, \quad (4.3)$$

де δ – зазор між стінками свердловини і зовнішнім діаметром труби.

$$d_{ек}^{\partial} = 200 + 40 = 240 \text{ мм.}$$

Діаметр долота для буріння під колону обсадних труб приймаємо 244,5 мм типу Ш 244,5 МС-Ц.

Глибину встановлення кондуктора визначено з урахуванням положення першого водотривкого горизонту та вимог щодо його надійної ізоляції. Перекриття водотривкого пласта передбачено із заглибленням не менше ніж на 1 м. Згідно з гідрогеологічними умовами району, першим водотривким горизонтом є шар сіро-зеленої глини, який залягає в інтервалі глибин 14,2–32,9 м. Відповідно, глибину встановлення кондуктора прийнято 32,9 м.

Довжину експлуатаційної колони визначено на рівні 73 м відповідно до глибини розкриття водоносного горизонту.

Монтаж обсадної колони діаметром 200 мм передбачено із суцільним цементуванням затрубного простору. Підйом цементного розчину до гирла свердловини забезпечує герметизацію затрубного простору та виключає можливість міжпластових перетоків.

Виведення експлуатаційної колони діаметром 140 мм передбачено на 0,5 м над рівнем денної поверхні з метою запобігання потраплянню поверхневих і забруднених вод у свердловину.

Наносимо конструктивні елементи на геологічний розріз рис. 4.3.

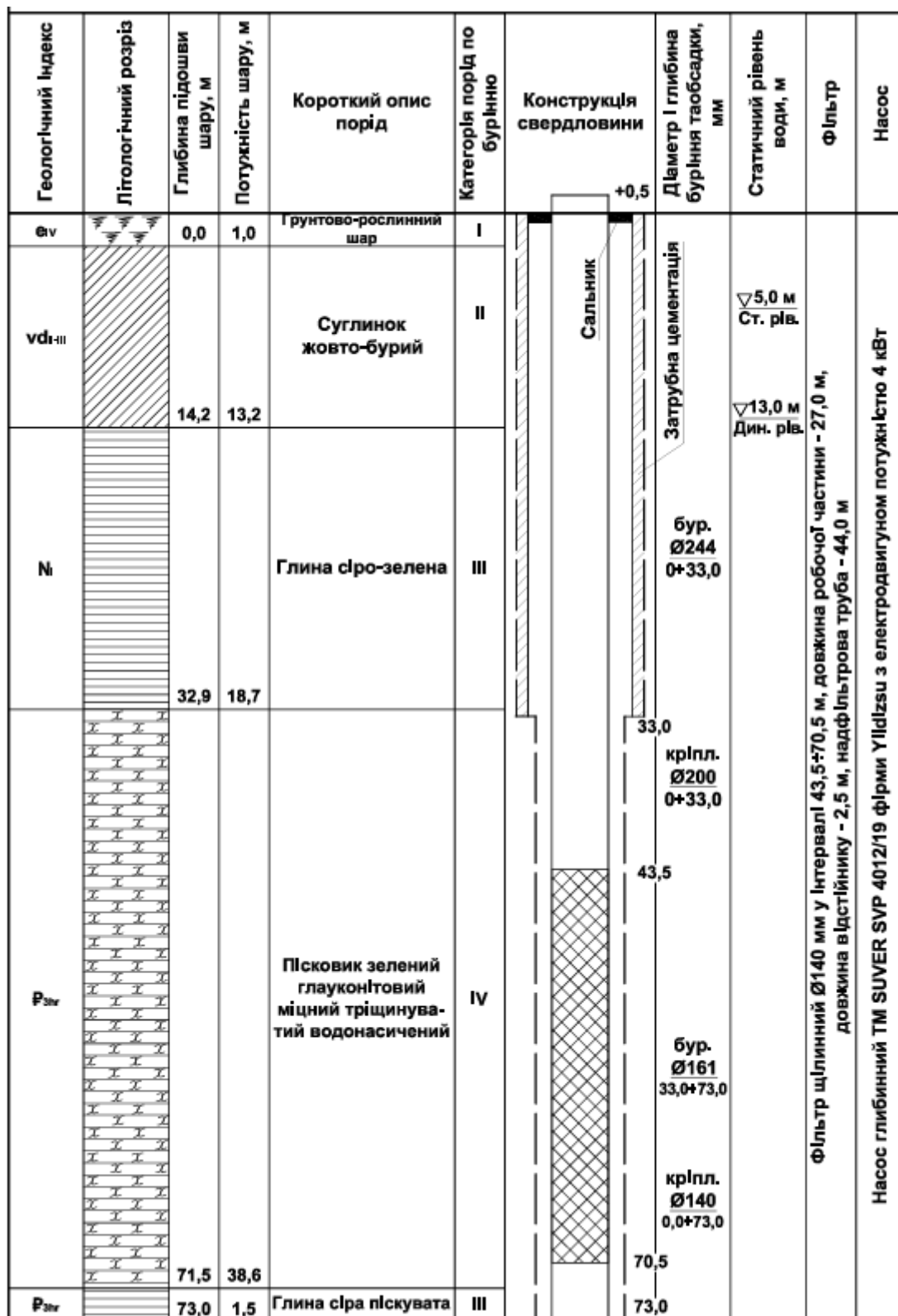


Рисунок 4.3 – Геолого-технічний розріз свердловини та її конструкція

4.2 Бурове обладнання та інструмент

Підбір бурової установки є одним із визначальних етапів проектування процесу спорудження свердловини, оскільки від правильності вибору залежить технічна можливість досягнення проектної глибини, забезпечення необхідного діаметра стовбура та загальна ефективність бурових робіт. Бурова установка повинна мати достатній запас потужності, що гарантує стабільну роботу обладнання в складних гірничо-геологічних умовах і дозволяє уникнути перевантажень основних вузлів [24, 26].

Окрім номінальних технічних характеристик (глибина буріння, вантажопідйомність, потужність приводу, тип привідної системи), при виборі бурової установки обов'язково враховують геологічні умови району робіт. Зокрема, суттєве значення мають літологічний склад порід, їх міцність, абразивність, тріщинуватість, а також наявність водоносних горизонтів. Ці фактори безпосередньо впливають на вибір способу буріння (роторний, турбінний, шнековий тощо), тип бурового інструменту та режимні параметри роботи [24, 26].

Важливим критерієм є також економічна доцільність застосування тієї чи іншої установки. Вона визначається співвідношенням вартості буріння, продуктивності, витрат на обслуговування та енергоспоживання. Раціональний вибір забезпечує мінімізацію собівартості спорудження свердловини при дотриманні всіх технічних вимог [24, 26].

Ключовим етапом підбору бурової установки є перевірка її вантажопідйомності. Вантажопідйомна система (талевий блок, кронблок, бурова лебідка) повинна забезпечувати підйом і спуск бурильної та обсадної колон із урахуванням їх повної маси. При цьому враховують не лише статичне навантаження, але й динамічні зусилля, що виникають під час спуско-підймальних операцій, зокрема ривки, інерційні сили та вплив гідродинамічного опору промивальної рідини [24].

Розрахункова вантажопідйомність визначається з урахуванням коефіцієнта запасу міцності, який зазвичай приймається в межах 1,2–1,5 залежно від умов

експлуатації. Це дозволяє забезпечити надійність роботи обладнання та запобігти аварійним ситуаціям [21, 24, 26].

Маса обсадної колони визначається за формулою

$$Q = g \cdot L \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p}{\gamma_m}\right), \quad (4.5)$$

де g – маса 1 п.м. обсадної колони, кг;

L – довжина колони;

γ_p - питома вага промивної рідини, 1,05 т/м³;

γ_m - питома вага матеріалу труб, 1,40 т/м³.

$$Q = 6,8 \cdot 33,0 \cdot \left(1 - \frac{1,05}{1,40}\right) = 56,1 \text{ кг.}$$

У випадку, якщо маса обсадної колони перевищує вантажопідйомність лебідки, то спуск колони проектується із зворотним клапаном.

Буровий насос станка повинен мати продуктивність, що забезпечує потрібну кількість промивної рідини для подачі в свердловину на будь-якому етапі буріння. У випадку недостатньої продуктивності застосовують насос більшої потужності або два насоси.

Діаметр бурильних труб d_{BT} вибирають із умови

$$d_{BT} = (0,45 - 0,60) \cdot d_\partial, \quad (4.6)$$

де d_∂ - діаметр долота, мм.

$$d_{BT} = 0,45 \cdot 244,5 = 110 \text{ мм.}$$

Приймаємо типорозмір бурильної труби (колони) ТБСЛ-114 (табл.4.2).

Діаметр обвантажених бурильних труб $d_{ОБТ}$ вибирають за умови

$$d_{ОБТ} = (0,7 - 0,8) \cdot d_o. \quad (4.7)$$

$$d_{ОБТ} = 0,7 \cdot 244,5 = 171 \text{ мм.}$$

Приймаємо ОБТ діаметром 146 мм (рис.4.4)

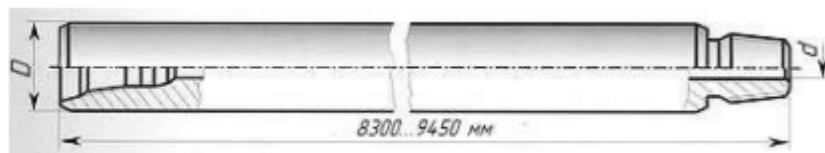


Рисунок 4.4 - ОБТ типу А гладка ($D = 79,4...279,4$ мм, $d = 31,8...101,6$ мм)

Ведучі бурильні труби приймаємо квадратного перерізу. Ведуча труба складається з квадратної (рис. 4.5) товстостінної штанги 2 з прошитим, або просвердленим каналом, верхнього перехідника 1 для з'єднання з вертлюгом і нижнього перехідника 3.

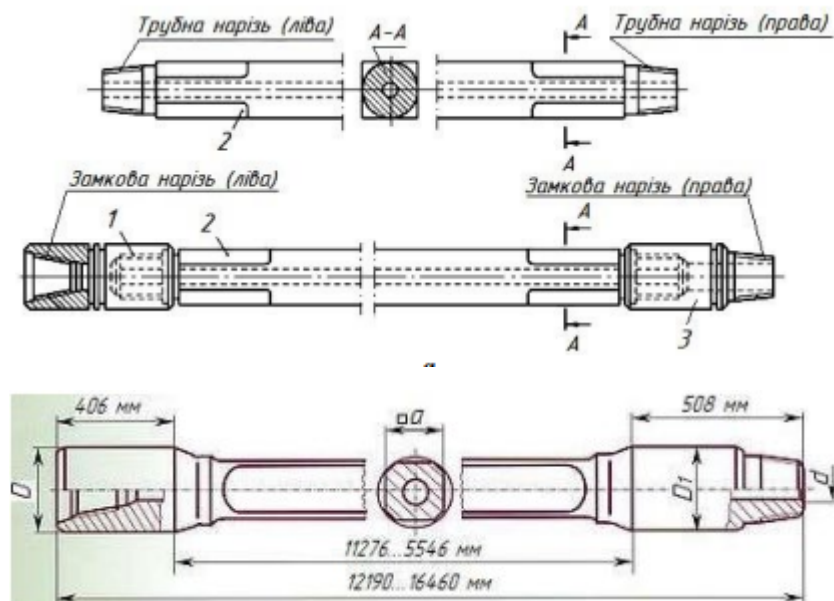


Рисунок 4.5 – Труба бурильна ведуча квадратна типу К ($D=146,1$ і $196,9$ мм, $d = 44,5...101,6$ мм, $D1 = 104,8... 203,2$ мм, $a = 76,2... 155,0$ мм)

Вибір типів шарошкових доліт здійснюється з урахуванням фізико-механічних характеристик гірських порід, а також діаметра буріння, визначеного проектною конструкцією свердловини. При цьому береться до уваги асортимент інструменту відповідно до чинних стандартів [18, 23, 24, 26, 27]. Характеристика інструменту наведена в табл.4.2. і 4.3.

Таблиця 4.2 - Склад та характеристика бурового інструменту [23, 24, 26, 27]

Бурові труби				Ведуча труба		Обвантажені бурильні труби			
зовнішній діаметр, мм	товщина стінки, мм	діаметр замка, мм	номінальна довжина труби із замком, м	переріз, мм	конструкція	зовнішній діаметр, мм	діаметр каналу, мм	довжина, м	маса 1 п.м., кг
114	6	114,5	4,5	80×80	Рис.4.3	146	76	8,0	96,0

Таблиця 4.3 – Породоруїнівний інструмент [18]

Інтервал буріння, м	Тип, марка і діаметр породоруїнівного інструменту
0-32,9	ІІ 244,5 МС-Ц.
32,9 – 73,0	ІІІ 161 ТК-Ц

5 ТЕХНОЛОГІЯ БУРІННЯ

5.1 Буріння свердловин з прямим промиванням

Суть буріння полягає у руйнуванні гірської породи буровим інструментом, який обертається навколо своєї осі з одночасним створенням осьового навантаження на забій свердловини під дією ваги бурового снаряда. Промивна рідина виконує кілька важливих функцій: охолоджує робочий інструмент, стабілізує стінки свердловини, запобігаючи їх обваленню, а також виносить із забою зруйновану породу (шлам) висхідним потоком [1].

Технологія буріння свердловин із прямим промиванням включає такі основні етапи [2]:

- заглиблення в ґрунт долота великого діаметра;
- обертання долота за допомогою ротора;
- встановлення бурильних труб і монтаж обважнених бурильних труб між долотом і колоною;
- видалення зруйнованої породи напором промивної рідини, що створюється буровим насосом;
- монтаж обсадної колони, яка запобігає обсіпанню стінок свердловини;
- подальше буріння долотом меншого діаметра з повторенням технологічного циклу.

Під час роторного буріння свердловин із прямим промиванням глинистим розчином промивна рідина подається до забою через бурильні труби, а піднімається на поверхню кільцевим простором між стінками свердловини та бурильною колоною (рис.5.1). Відпрацьований розчин самопливом надходить у попередньо підготовлений відстійник, де відбувається його очищення від частинок ґрунту та шламу. Після цього очищена рідина знову подається в бурильну колону для подальшого використання [3].

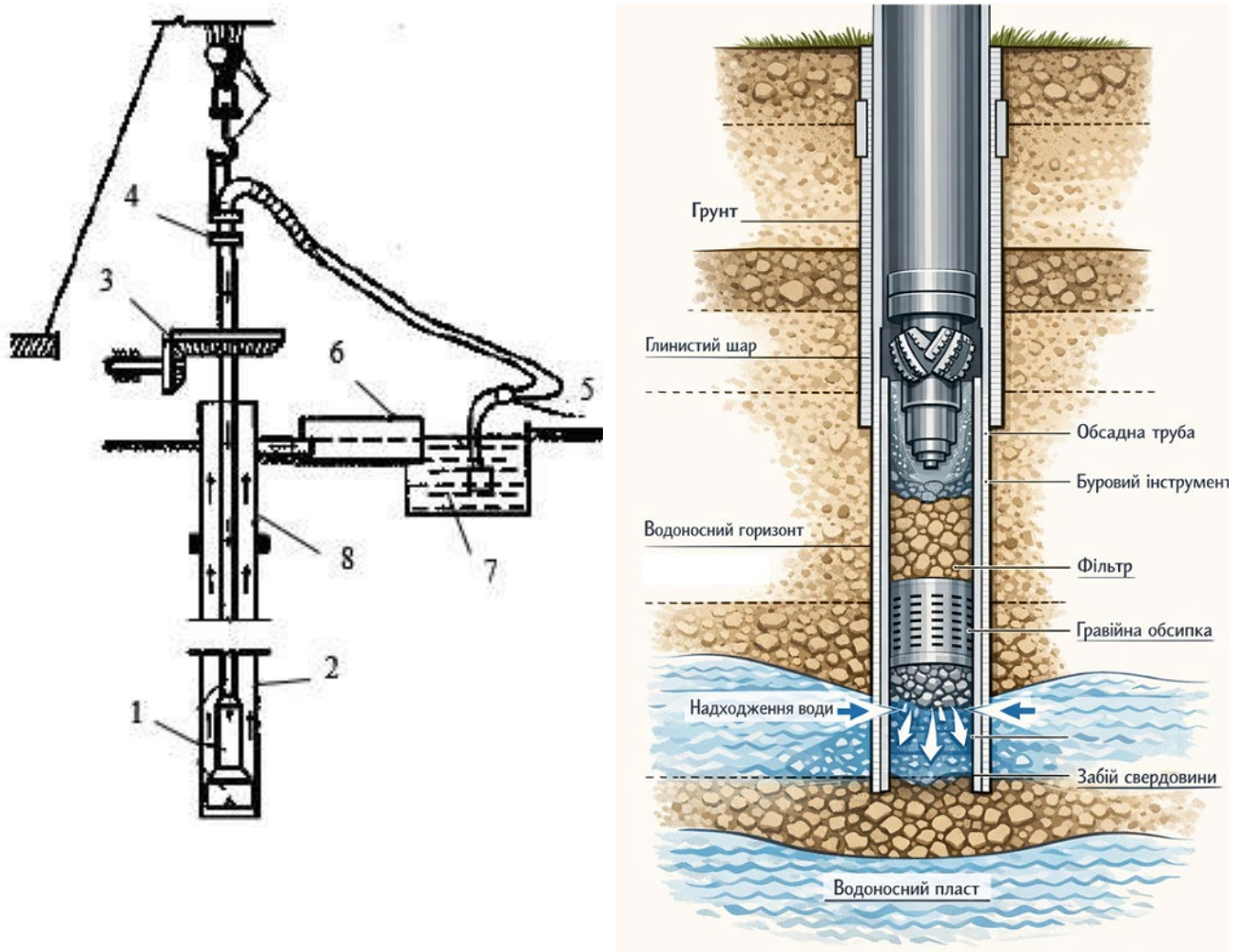


Рисунок 5.1 – Схема роторного буріння свердловин з прямим промиванням:

1. буровий снаряд;
2. свердловина;
3. ротор;
4. вертлюг-сальник;
5. буровий промивний насос;
6. лоток циркуляційної системи;
7. відстійник глинистого промивного розчину;
- кондуктор

Процес спорудження свердловини на воду включає підготовчий, основний і завершальний етапи [1].

Підготовчий етап передбачає таку послідовність операцій:

1. Винесення в натуру точки закладання свердловини відповідно до проєктної документації.
2. Планування території та облаштування бурового майданчика.
3. Обладнання циркуляційної системи для приготування і очищення промивальної рідини.

4. Монтаж бурової вишки, допоміжних споруд і технологічного устаткування.
5. Підготовка під'їзних шляхів, а також підведення інженерних комунікацій (ліній електропередач, водопостачання тощо).
6. Перевірка технічної готовності бурової установки до виконання робіт [2].

Основний етап включає безпосереднє буріння свердловини, а також виконання всіх супутніх технологічних операцій: нарощування бурильної колони, промивання свердловини, контроль параметрів буріння, кріплення стінок обсадними трубами та інші процеси, що забезпечують досягнення проектної глибини і необхідних гідрогеологічних характеристик [3].

Завершальний етап охоплює комплекс робіт, пов'язаних із дослідженням та введенням свердловини в експлуатацію, зокрема: проведення гідрогеологічних спостережень і геофізичних досліджень у свердловині, освоєння водоносного горизонту, встановлення фільтрів (за необхідності), демонтаж бурового обладнання, ліквідаційне тампонування (у разі потреби), а також рекультивацію території, що була відведена під бурові роботи [1].

5.2 Забурювання свердловини

Після встановлення бурової установки виконують центрування інструменту: за допомогою ротора долото приводять в обертання, вирівнюють нижню частину напрямної труби, після чого її закріплюють шляхом бетонування на висоту 0,4–0,5 м..

Далі облаштовується циркуляційна система промивання. Для цього споруджують приймальну ємність розмірами приблизно 2×2 або 2×3 м і глибиною до 1,5 м, а також один або два відстійники розмірами близько 1×1 м і глибиною до 1 м. Ємності з'єднують із гирлом свердловини за допомогою жолобів, які влаштовують із невеликим ухилом для забезпечення самопливу бурового розчину.

Перед початком монтажу обладнання бурову установку обов'язково заземлюють. Після цього запускають дизельний двигун і перевіряють його роботу на

холостому ході. За умови справної роботи приступають до складання щогли: її секції з'єднують, надійно фіксують болтовими з'єднаннями, монтують робочі площадки, драбини та розтяжки. Підйом щогли здійснюється за допомогою гідравлічних домкратів, які встановлюють на дерев'яні підкладки для рівномірного розподілу навантаження.

Після встановлення щогли упори закріплюють до рами бурової установки хомутами, додатково фіксують розтяжками, а також монтують допоміжне обладнання – буровий насос і глиномішалку.

Буровий снаряд для початкового заглиблення свердловини складається з породоруйнівного інструменту, короткої колонкової труби (довжиною 0,5–1,0 м) та перехідника для приєднання до бурильної колони.

Забурювання виконують при мінімальній частоті обертання бурового снаряда з обмеженим осьовим навантаженням і невеликою витратою промивальної рідини. Після досягнення глибини 3–4 м у свердловині встановлюють напрямну колону.

Для герметизації нижньої частини напрямної колони виконують тампонування: на вибій подають густий цементний розчин або глиняну суміш пластичної консистенції. У нижній частині труби встановлюють дерев'яний чіп, який під час спуску колони витискає тампонажний матеріал у затрубний простір; після цього чіп розбурюється. Верхню частину напрямної колони закріплюють в усті свердловини за допомогою щебеню або глини.

5.3 Режими буріння

До основних параметрів режиму буріння належать осьове навантаження на породоруйнівний інструмент, частота обертання бурового снаряда та витрата промивальної рідини [20, 21].

Осьове навантаження визначається з урахуванням гідрогеологічних умов, типу застосовуваного долота, а також ступеня його зношення. Оптимальне значення цього параметра забезпечує ефективне руйнування породи та запобігає передчасному спрацюванню інструменту.

Під час буріння водозабірних свердловин осьове навантаження приймається на основі рекомендованих питомих значень, наведених у відповідних джерелах [21].

Осьове навантаження на долото є одним із основних параметрів, що визначає ефективність процесу буріння свердловини. Його величина залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід, типу долота та режиму буріння.

Повне осьове навантаження визначається як добуток діаметра долота на питомих навантаженнях (табл.5.1).

Таблиця 5.1 – Рекомендоване питоме осьове навантаження [11, 20,21]

Характеристика порід	Питоме осьове навантаження в кг на 1см діаметра долота	
	шарошечного	лопатевого
Пухкі породи (пісок, гравій, галька)	100-150	50- 100
М'які в'язкі та пластичні породи (глини, суглинки, мергелі, крейда, сіль та ін.)	150-200	100-150
Породи середньої твердості напівселяні породи (щільні глини, пісковики, вапняки, глинисті сланці)	200-256	--
Тверді породи (доломіти щільні вапняки та пісковики, міцні сланці)	250-300	--
Тверді та міцні породи (кременисті вапняки і пісковики, доломіти, кварцити, іприти)	до 500	--

При бурінні установками роторного типу осьове навантаження створюється обважненими бурильними трубами (ОБТ), які встановлюються у нижній частині бурильної колони. ОБТ призначені для передачі навантаження на долото та забезпечення стійкості бурильної колони в процесі буріння. Довжину колони ОБТ визначають за формулою [21]

$$L = \frac{1,25 \cdot P}{m \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p}{\gamma_T}\right)}, \quad (5.1)$$

де P - повне осьове навантаження, Н;

m - вата 1 м.п. ОБТ (див.табл.4.2), кг;

γ_p і γ_T – відповідно щільність промивної рідини і матеріалу труб, т/м³.

В інтервалі 0-32,9

$$L = \frac{1,25 \cdot 24,45 \cdot 150}{96 \cdot \left(1 - \frac{1,05}{7,5}\right)} = 55,5 \text{ м.}$$

В цій роботі приймаємо рівній максимально можливу довжину ОБТ для бурінні інтервалу 0-32,9 м.

В інтервалі 33,0 – 73,0 м.

$$L = \frac{1,25 \cdot 16,1 \cdot 200}{96 \cdot \left(1 - \frac{1,05}{7,5}\right)} = 48,75 \text{ м.}$$

Довжину ОБТ приймають кратною довжині ОБТ – 48 м.

При бурінні неглибоких свердловин осьове навантаження на породоруйнівний інструмент зазвичай створюється за рахунок власної ваги бурильної колони. Якщо цього недостатньо для забезпечення ефективного руйнування породи, роботу ведуть при максимально допустимому навантаженні на долото.

У ряді випадків доцільно зменшувати осьове навантаження. Зокрема, його зниження (іноді до двох разів) рекомендується при бурінні свердловин глибиною до 100 м, у тріщинуватих породах, за наявності різкої зміни міцності порід, нестабільності механічної швидкості буріння, а також при недостатній продуктивності бурових насосів, коли не забезпечується належне очищення вибою. Крім того, зменшення навантаження є доцільним при проходженні похило залягаючих пластів.

Величина осьового навантаження повинна регулюватися також залежно від ступеня зношення долота. На початковому етапі буріння для шарошкових доліт питоме осьове навантаження має становити не менше 2 кН. У процесі роботи, з метою підтримання ефективності руйнування породи, його поступово підвищують до 2,5–4 кН [1; 2].

Перед початком повноцінного буріння долото підлягає припрацюванню: протягом 10–15 хвилин роботу ведуть при зниженому навантаженні, після чого його плавно доводять до розрахункового значення.

Під час проходження тріщинуватих порід осьове навантаження додатково зменшують на 20–30 %, оскільки ударні навантаження, що виникають у таких умовах, можуть спричинити передчасний знос або руйнування долота.

Частоту обертання долота, хв^{-1} , орієнтовно можна визначити за формулою

$$n = \frac{60 \cdot V_{\text{кол}}}{\pi \cdot D_{\text{д}}}, \dots\dots\dots (5.3)$$

де $V_{\text{кол}}$ – колова швидкість обертання долота, м/с. Приймаємо за табл. 8.1 [21] – 1 м/с.; $D_{\text{д}}$ - діаметр долота, м.

В інтервалі 0-32,9

$$n = \frac{60 \cdot 1}{\pi \cdot 0,2445} = 78 \text{ хв}^{-1}.$$

В інтервалі 33,0 – 73,0 м.

$$n = \frac{60 \cdot 1}{\pi \cdot 0,161} = 119 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота обертання долота є одним із ключових параметрів режиму буріння і підлягає коригуванню залежно від гірничо-геологічних та технічних умов. Зі збільшенням діаметра долота, глибини свердловини та абразивності порід частоту обертання, як правило, зменшують. Аналогічне зниження доцільне при використанні бурильних труб меншого діаметра, а також при проходженні пластів,

що характеризуються чергуванням порід різної твердості та незначною потужністю.

Раціональний вибір частоти обертання дозволяє підвищити ефективність руйнування породи, зменшити зношування інструменту та забезпечити стабільність процесу буріння.

Фактичне значення частоти обертання долота встановлюють відповідно до технічних характеристик обраної бурової установки та режимних параметрів її роботи.

5.4 Очищення свердловини від шламу та уламків порід при бурінні

Гідравлічний спосіб видалення продуктів руйнування породи є найбільш поширеним у практиці буріння свердловин і застосовується переважно при роторному способі буріння. Суть методу полягає у винесенні шламу за рахунок кінетичної енергії потоку промивальної рідини, яка подається в свердловину під тиском.

У сучасних умовах найефективнішою та найпоширенішою є схема прямого промивання свердловини, яка і приймається в даному проєкті.

При прямому промиванні буровий розчин за допомогою насоса подається із зумпфа в бурильну колону і транспортується до вибою через внутрішню порожнину бурильних труб. На вибої рідина виконує кілька функцій: охолоджує породоруйнівний інструмент, очищує вибій та захоплює частинки зруйнованої породи.

Після цього суміш промивальної рідини та шламу піднімається на поверхню по кільцевому простору між стінками свердловини і бурильною колоною (рис. 5.2), де проходить очищення і повторно використовується в циркуляційному циклі.

На поверхні промивальна рідина проходить систему очищення, після чого повторно надходить у зумпф. Таким чином, у процесі буріння забезпечується безперервна замкнена циркуляція промивальної рідини, що є необхідною умовою ефективного очищення вибою при роторному способі буріння.

Вибір типу промивальної рідини залежить від гірничо-геологічних умов. При бурінні у щільних і стійких породах зазвичай використовують воду. У пухких і нестійких породах застосовують глинистий розчин, який забезпечує додаткове закріплення стінок свердловини. Для твердих порід можуть використовуватися водні розчини мінеральних солей, що сприяють зниженню їх міцності та підвищенню ефективності руйнування.

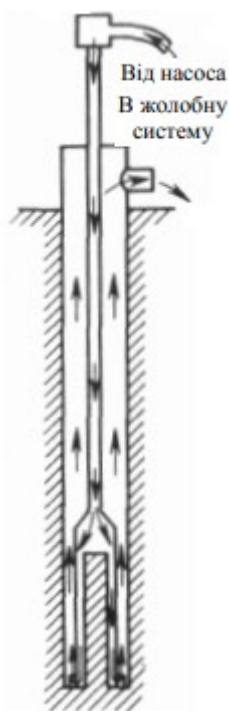


Рисунок 5.2 – Схема прямого промивання свердловини

Важливим параметром є швидкість циркуляції промивальної рідини. Для забезпечення якісного винесення шламу швидкість руху глинистого розчину повинна бути не меншою за 0,55 м/с [1; 2].

Витрату промивальної рідини визначають із умови забезпечення мінімально необхідної швидкості її руху в кільцевому просторі свердловини, що гарантує ефективне очищення вибою від продуктів руйнування.

$$Q = 0,785 \cdot (D^2 - d^2) \cdot V, \quad (5.4)$$

де D – діаметр свердловини, м;

d – зовнішній діаметр бурильних труб, мм.

$$Q = 0,785 \cdot (0,2445^2 - 0,114^2) \cdot 0,6 = 0,022 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Кількість промивної рідини для буріння однієї свердловини складає

$$W = 2 \cdot W_c, \quad (5.5)$$

де W_c – об'єм свердловини проектної глибини, м^3 .

У нашому випадку $W = 2,36 \text{ м}^3$.

Маса глини для приготування 1 м^3 глиняного розчину дорівнює

$$m_{\Gamma} = \frac{\gamma_{\Gamma} \cdot (\gamma_{zp} - \gamma_{\text{в}})}{\gamma_{\Gamma} - \gamma_{\text{в}}}, \quad (5.6)$$

де γ_{Γ} – щільність глини, т/м^3 ;

γ_{zp} – задана щільність глиняного розчину, т/м^3 ;

$\gamma_{\text{в}}$ – щільність води, т/м^3 .

$$m_{\Gamma} = \frac{2,5 \cdot (1,05 - 1,0)}{2,5 - 1,0} = 0,083 \text{ т}.$$

Щільність глини в незруйнованому стані знаходиться в межах від 2,2 до 2,8 т/м^3 , а подрібненому – від 1,65 до 1,9.

Поділивши масу глини, розраховану за формулою 5.6 на її щільність отримують витрату групової глини (V_{Γ} , м^3) на 1 м^3 розчину – $0,033 \text{ м}^3$.

Витрату води для приготування 1 м^3 розчину визначаємо за формулою

$$V_g = 1 - V_c. \quad (5.7)$$

$$V_g = 1 - 0,033 = 0,967 \text{ м}^3.$$

Очищення промивальної рідини від частинок вибуреної породи здійснюється у поверхневій циркуляційній системі, основним елементом якої є жолобно-відстійниковий комплекс. Процес очищення базується на використанні сил гравітації: під час руху розчину тверді частинки поступово осідають на дно, що забезпечує його часткове освітлення перед повторним використанням [1; 2].

Жолобна система складається з послідовно з'єднаних каналів і відстійників, які, як правило, виготовляють із деревини. Жолоби мають прямокутну форму поперечного перерізу з типовими розмірами близько 0,4 м завширшки та 0,35 м заввишки. Для підвищення ефективності осадження у їхній нижній частині встановлюють поперечні перегородки висотою приблизно 0,1 м, розміщені через кожні 1,5 м. Таке конструктивне рішення зменшує швидкість потоку та сприяє інтенсивнішому випадінню твердих частинок у осад.

Жолоби монтують із невеликим поздовжнім ухилом (приблизно 0,01) у напрямку руху рідини від гирла свердловини, що забезпечує її самоплинне транспортування. Загальна довжина системи приймається залежно від глибини свердловини і зазвичай становить 15–20 м.

Відстійники виконують у вигляді заглиблень у ґрунті з укріпленими стінками (наприклад, дощатою обшивкою). Об'єм приймального відстійника, як правило, приймається не меншим ніж подвійний об'єм свердловини, що забезпечує достатній час для осадження частинок.

Швидкість руху промивальної рідини в жолобах підтримують на рівні до 0,1 м/с, що є оптимальним для ефективного відокремлення твердих домішок без повторного їх підйому у потік.

5.5 Цементування свердловини

Метою цементування обсадної колони є утворення в затрубному просторі міцного, однорідного та концентрично розташованого кільця цементного каменю, яке забезпечує надійну ізоляцію розкритих свердловиною пластів. Якісне цементування запобігає міжпластовим перетокам, захищає обсадну колону від корозії та підвищує довговічність свердловини в процесі її експлуатації [19, 27].

Для цементування обсадних колон застосовують спеціальні тампонажні розчини, які готують шляхом змішування тампонажного цементу з водою та, за необхідності, різними хімічними добавками (прискорювачами або сповільнювачами тужавіння, пластифікаторами, стабілізаторами тощо). У процесі змішування утворюється рідка, рухлива маса з визначеними реологічними властивостями, що забезпечують її прокачування в затрубний простір і рівномірне заповнення всіх порожнин [24].

Технологічні схеми приготування і нагнітання тампонажних розчинів можуть суттєво відрізнятися залежно від гірничо-геологічних умов, глибини свердловини, температурного режиму та інших факторів. Це зумовлює вибір відповідної конструкції свердловини, способу цементування (одноступеневого, багатоступеневого, манжетного тощо) і типу тампонажного матеріалу для кожного конкретного випадку [27].

Відмінності між технологічними схемами полягають передусім у кількості та типі застосованого обладнання, зокрема цементувальних агрегатів і цементозмішувальних машин. Крім того, можуть використовуватись спеціальні пристрої – цементувальні головки, розділювальні пробки, турбулізатори, централізатори, які забезпечують підвищення якості цементного кільця, покращують витіснення бурового розчину та сприяють рівномірному розподілу цементу в затрубному просторі [27].

Особливу увагу приділяють забезпеченню концентричного розташування обсадної колони в стовбурі свердловини, оскільки це безпосередньо впливає на

рівномірність товщини цементного каменю. Для цього застосовують централізатори, які дозволяють мінімізувати ексцентриситет і забезпечити якісну ізоляцію пластів [26, 27].

Таким чином, ефективність цементування обсадної колони визначається не лише властивостями тампонажного розчину, але й правильно обраною технологічною схемою, складом обладнання та урахуванням конкретних геолого-технічних умов буріння.

Перед початком цементування обсадної колони обов'язково проводять ретельну промивку свердловини. Промивання здійснюється доти, доки густина рідини, що закачується в свердловину, не зрівняється з густиною рідини, яка виходить на поверхню. Це забезпечує очищення стовбура свердловини від шламу, стабілізацію гідродинамічних умов та створення передумов для якісного цементування [24, 27].

Найбільш поширеними способами цементування обсадних колон є одноступінчастий і двоступінчастий. Одноступінчастий спосіб цементування є технологічно простішим і широко застосовується при бурінні свердловин невеликої та середньої глибини [19, 24].

Суть одноступінчастого цементування полягає у послідовному виконанні ряду технологічних операцій (рис.5.3). На першому етапі в обсадну колону опускають нижню цементувальну пробку (рис.5.3, а), яка призначена для відокремлення цементного розчину від промивної рідини. Конструктивно нижня пробка 2 (рис.5.3, а) має отвір, перекритий еластичною гумовою мембраною, що дозволяє регулювати рух потоків рідини в колоні.

Після встановлення нижньої пробки на гирло свердловини монтують цементувальну головку з верхньою цементувальною пробкою, яка, на відміну від нижньої, не має наскрізного отвору (рис.5.3, б). Далі здійснюють закачування розрахованого об'єму цементного розчину в обсадну колону. Об'єм цементного розчину визначається таким чином, щоб забезпечити підйом цементу в затрубному просторі до проєктної висоти, а також залишення невеликої його кількості всередині колони (так званого «цементного стакана») [1].

Після закачування цементного розчину у колону вводять верхню цементувальну пробку 4 (рис.5.3, б), яку проштовхують потоком промивної рідини. У процесі руху нижня пробка досягає упорного кільця і зупиняється (рис.5.3, в). Подальше підвищення тиску призводить до руйнування гумової мембрани нижньої пробки, що забезпечує проходження цементного розчину в затрубний простір.

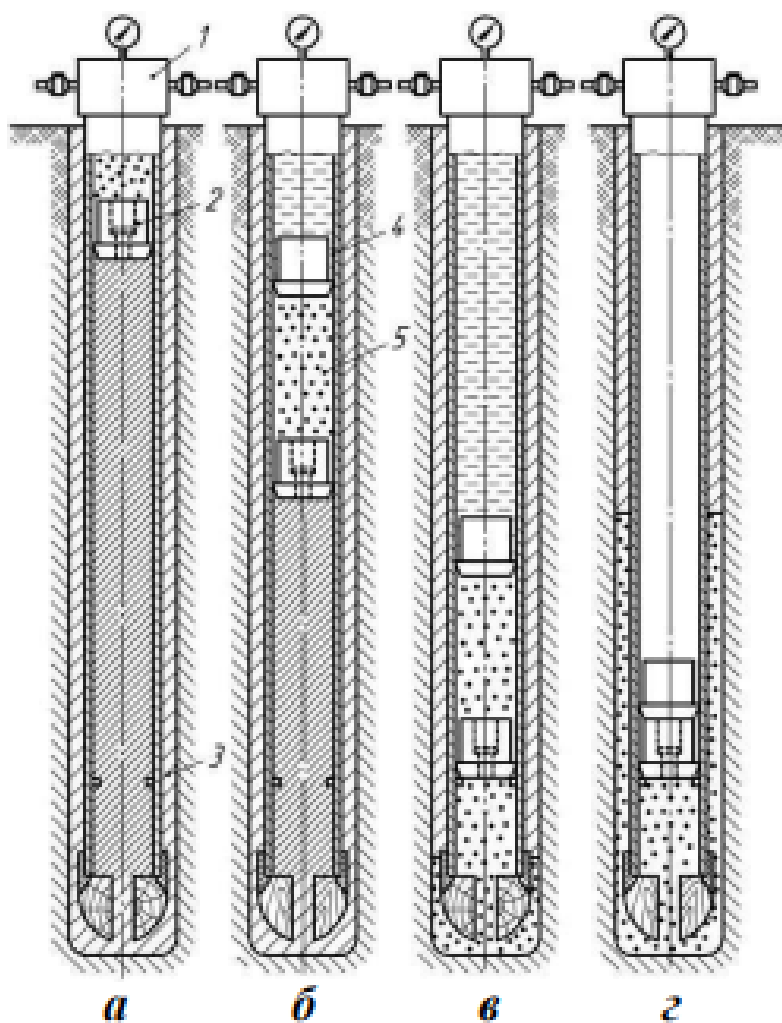


Рисунок 5.3 – Стадії одноступінчастого цементування: 1 – головка; 2 – нижня пробка; 3 – упорне кільце; 4 – верхня пробка; 5 – цементний розчин

При подальшому нагнітанні промивної рідини верхня пробка досягає нижньої і герметично перекриває її отвір (рис.5.3, г). У цей момент виникає різке зростання тиску (гідравлічний удар), який фіксується манометром цементувальної головки. Це слугує сигналом завершення процесу продавлювання цементного розчину [2].

Після закінчення цементування свердловину залишають у стані спокою для тужавіння цементного каменю. Час витримки залежить від типу обсадної колони

та умов буріння і, як правило, становить близько 16 годин для кондуктора та до 24 годин для проміжних і експлуатаційних колон. За цей період цементний розчин переходить у твердий стан, формуючи міцне ізоляційне кільце в затрубному просторі [3].

Таким чином, одноступінчасте цементування є ефективним і технологічно відпрацьованим методом, який забезпечує надійну ізоляцію пластів за умови дотримання всіх технологічних параметрів і режимів виконання робіт.

Схема для розрахунку цементування експлуатаційної колони наведена на рис.5.4.

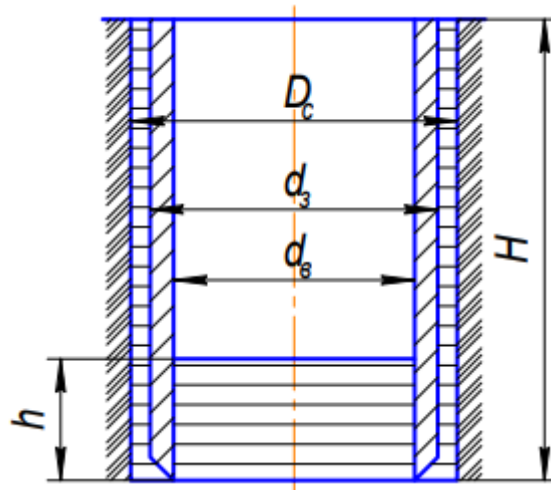


Рисунок 5.4 – Схема для розрахунку цементування обсадної колони

Потрібну кількість цементного розчину знаходять за формулою [11, 20, 21]

$$V_{ц.р.} = 0,785 \cdot [(D^2 - d_3^2) \cdot H_1 \cdot k + d_6^2 \cdot h], \quad (5.8)$$

де $V_{ц.р.}$ - необхідна кількість цементного розчину, м³;

D – діаметр свердловини, м;

d_3 – зовнішній діаметр обсадних труб, м;

H_1 – висота підйому цементного розчину за колоною, м;

k – коефіцієнт, враховуючий можливе збільшення об'єму цементного розчину на заповнення розширень, каверн; його приймають рівним 1,2...1,3;

$d_в$ —внутрішній діаметр обсадних труб, м;

h —висота цементної пробки в колоні; звичайно приймають 3м.

$$V_{ц.р.} = 0,785 \cdot [(0,2445^2 - 0,200^2) \cdot 33,0 \cdot 1,25 + 0,186^2 \cdot 3] = 0,722 \text{ м}^3.$$

Щільність цементного розчину обчислюють за формулою

$$\gamma_{цр} = \gamma_ц \cdot \gamma_в \cdot \frac{1+m}{\gamma_в+m \cdot \gamma_ц}, \quad (5.9)$$

де $\gamma_{цр}$ — щільність цементного розчину, т/м³;

$\gamma_ц$ — щільність цементу, приймається 3,15 т/м³;

m — водоцементний фактор, приймається рівним 0,5.

$$\gamma_{цр} = 3,15 \cdot 1,0 \cdot \frac{1 + 0,5}{1 + 0,5 \cdot 3,15} = 1,83 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}.$$

Кількість сухого цементу для виготовлення 1 м³ цементного розчину знаходять за формулою

$$q = \gamma_ц \cdot \gamma_в / (\gamma_в + m \cdot \gamma_ц), \quad (5.10)$$

де q —кількість сухого цементу, т.

$$q = 3,15 \cdot \frac{1,0}{1,0 + 0,5 \cdot 3,15} = 1,22 \text{ т}.$$

Загальну кількість сухого цементу для цементзації визначають за формулою

$$Q_ц = q \cdot V_{ц.р.} \cdot \beta, \quad (5.11)$$

де Q_u — кількість сухого цементу, т;

q — кількість сухого цементу на 1 м^3 цементного розчину, т;

$V_{u.p.}$ — потрібна кількість цементного розчину, м^3 ;

β — коефіцієнт на втрати цементу при замішуванні. Приймаємо - 1,1.

$$Q_u = 1,22 \cdot 0,722 \cdot 1,1 = 0,97 \text{ т.}$$

Кількість води (м^3), необхідної для виготовлення цементного розчину, знаходять за формулою

$$V_g = Q_u \cdot m, \quad (5.12)$$

де Q_u — кількість сухого цементу, т.

$$V_g = 0,97 \cdot 0,5 = 0,485 \text{ м}^3.$$

Кількість рідини для протиснення цементного розчину можна знайти по формулі

$$V_{np} = 0,785 \cdot d_g^2 \cdot (H - h) \cdot k, \quad (5.13)$$

де V_{np} — необхідна кількість глиняного розчину чи води для протиснення цементного розчину в затрубний простір, м^3 ;

H — довжина колони обсадних труб, м;

k — коефіцієнт враховуючий стиснення рідини, приймається для глиняного розчину 1,05 і для води 1,0.

$$V_{np} = 0,785 \cdot 0,186^2 \cdot (33,0 - 3) \cdot 1,05 = 0,855 \text{ м}^3.$$

Тиск на головці колони в момент сходження цементуючих пробок розраховують по формулі

$$P = P_1 + P_2, \quad (5.14)$$

де P_1 — тиск для подолання різниці щільностей рідини в трубах і за трубами, кг/см²;

P_2 — гідростатичний опір в кінці промивки свердловини, кг/см²;

$$P_1 = (H_1 - h) \cdot (\gamma_{up} - \gamma_p) / 10, \quad (5.15)$$

де h — висота встановлення стоп-кільця від башмака, м;

γ_p — щільність глиняного розчину, т/м³;

$$P_2 = 0,01 \cdot L + 8, \quad (5.16)$$

де L — глибина свердловини, м.

Звідси

$$P = \frac{(H_1 - h) \cdot (\gamma_{up} - \gamma_p)}{10} + 0,01 \cdot L + 8. \quad (5.17)$$

$$P = \frac{(33,0 - 3) \cdot (3,15 - 1,05)}{10} + 0,01 \cdot 33 + 8 = 14,63 \text{ кг/см}^2.$$

Виходячи з кінцевого тиску при цементуванні, готують відповідний насос для протиснення цементного розчину.

Час цементації колони дорівнює

$$T_{cem} = t_u + t_{nc} + 10, \quad (5.18)$$

де 10 – час, необхідний для виконання операцій на закладання в заливну головку верхньої пробки, хв;

$t_{\text{ц}}$ – час нагнітання цементного розчину.

$$t_{\text{ц}} = V_{\text{ц}} / K \cdot q_i, \quad (5.19)$$

де q_i – продуктивність цементного агрегату на i – тій швидкості, л/с – табл.5.2;

K – первісний коефіцієнт. Приймаємо 0,06.

$$t_{\text{ц}} = \frac{2,32}{0,06 \cdot 9,17} = 4,22 \text{ хв.}$$

Таблиця 5.2 - Цементний агрегат ЦА-80 з насосами НЦП-1

Швидкість	I	II	III	IV
Продуктивність, л/с	3,3	5,0	8,3	9,17

$t_{\text{нц}}$ – час протиснення цементного розчину, хв.;

$$t_{\text{нц}} = V_{\text{нр}} / 0,06 \cdot q_{\text{ср}}, \quad (5.20)$$

де $q_{\text{ср}}$ – середня продуктивність насосів цементуючого агрегату на I, II, III і IV швидкостях (табл.5.2).

$$t_{\text{нц}} = \frac{1,35}{0,06 \cdot 6,44} = 3,49 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{цем}} = 4,22 + 3,49 + 10 = 17,7 \text{ хв.}$$

Допустимий час цементациі свердловини

$$T_{дон} \leq 0,75 \cdot T_{туж.}, \quad (5.21)$$

де $T_{туж.}$ — час тужавлення цементного розчину;

$$T_{туж.} = 3 \text{ год.} = 180 \text{ хв.};$$

$$T_{дон} = 0,75 \cdot 180 = 135 \text{ хв.}$$

Для отримання високоякісної цементації необхідно, щоб середня швидкість висхідного потоку цементного розчину в позатрубному просторі була не менше 1,5 м/с. Виходячи з цього, потрібну кількість агрегатів цементації можна визначити по формулі

$$n = 60 \cdot V \cdot 0,785 \cdot (D^2 - d_n^2) / q_{cp}, \quad (5.22)$$

де n — потрібна кількість агрегатів цементації;

V — середня швидкість висхідного протоку цементного розчину, приймаємо 1,5 м/с.

$$n = 60 \cdot 1,5 \cdot 0,785 \cdot \frac{0,2445^2 - 0,200^2}{6,44} = 0,22 \text{ шт.}$$

Приймаємо один цементувальний агрегат.

6. ОБЛАДНАННЯ СВЕРДЛОВИНИ

6.1 Колодязь свердловини

Розміщення обладнання водозабірної свердловини передбачаємо в підземній камері (колодязі) відповідно до проектних рішень, гідрогеологічних умов та вимог експлуатації.

Свердловину обладнуємо насосним агрегатом, контрольно-вимірювальними приладами та допоміжними елементами.

У камері над свердловиною необхідно передбачати встановлення крана для відбору проб води.

Для контролю тиску в напірному трубопроводі слід встановлювати манометр.

На напірному трубопроводі необхідно передбачати запірно-регулюючу арматуру, що включає: відсікаючу засувку; кульовий кран; зворотний клапан, встановлений після водолічильника.

Облік об'єму води здійснюється за допомогою водолічильника типу МТК-25.

Верхню частину обсадної колони обладнуємо герметичним оголовком, що забезпечує захист свердловини від забруднення (рис.6.2).

Оголовок необхідно встановлювати з підняттям над рівнем підлоги не менше ніж на 0,5 м.

Оголовок повинен забезпечувати кріплення насосного обладнання, напірного трубопроводу та електричного кабелю. Залежно від умов експлуатації та конструктивних вимог оголовки виготовляються з металу (зокрема чавуну або сталі) або з полімерних матеріалів, що відзначаються корозійною стійкістю та довговічністю. В цій роботі передбачаємо оголовок із пластику.

Застосування герметичного оголовка є обов'язковою умовою забезпечення санітарної надійності свердловини та довготривалої безпечної експлуатації водозабірної споруди.

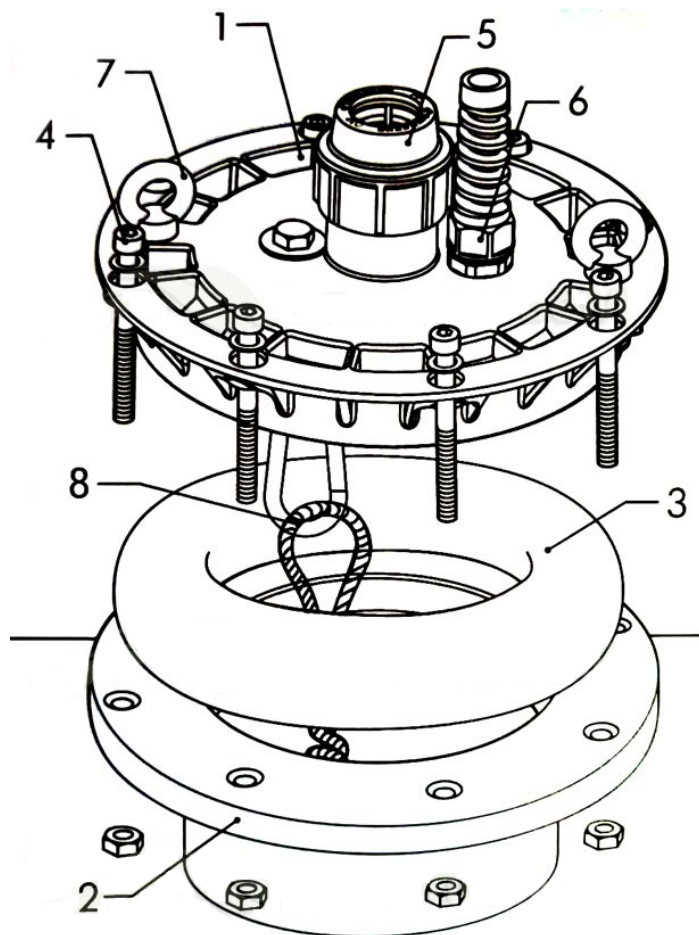


Рисунок 6.1 – Конструкція оголовка свердловини:

1. Верхня кришка.
2. Нижній притискний фланець.
3. Гумове ущільнювальне кільце.
4. Болти для кріплення.
5. Прохідна компресійна муфта ПНД.
6. Герметичний ввід для кабелю живлення насоса.
7. Два верхні рим-болти.
8. Карабін для страхувального троса.

Колодязь свердловини передбачається виконувати зі збірних уніфікованих залізобетонних елементів заводського виготовлення. Конструкція колодязя включає стінові кільця діаметром 2000 мм у кількості 2 шт., залізобетонні плити днища та перекриття діаметром 2000 мм, а також горловину, виконану з кільця діаметром 700 мм. Горловина обладнується кришкою та чавунним люком із гвинтовим замком (рис.6.2).

Монтаж елементів колодязя необхідно виконувати з забезпеченням герметичності стиків із застосуванням цементно-піщаного розчину та гідроізоляційних матеріалів. Зовнішні поверхні колодязя слід захищати гідроізоляцією для запобігання проникненню ґрунтових і поверхневих вод. Основу під днище необхідно виконувати з ущільненої піщаної підготовки.

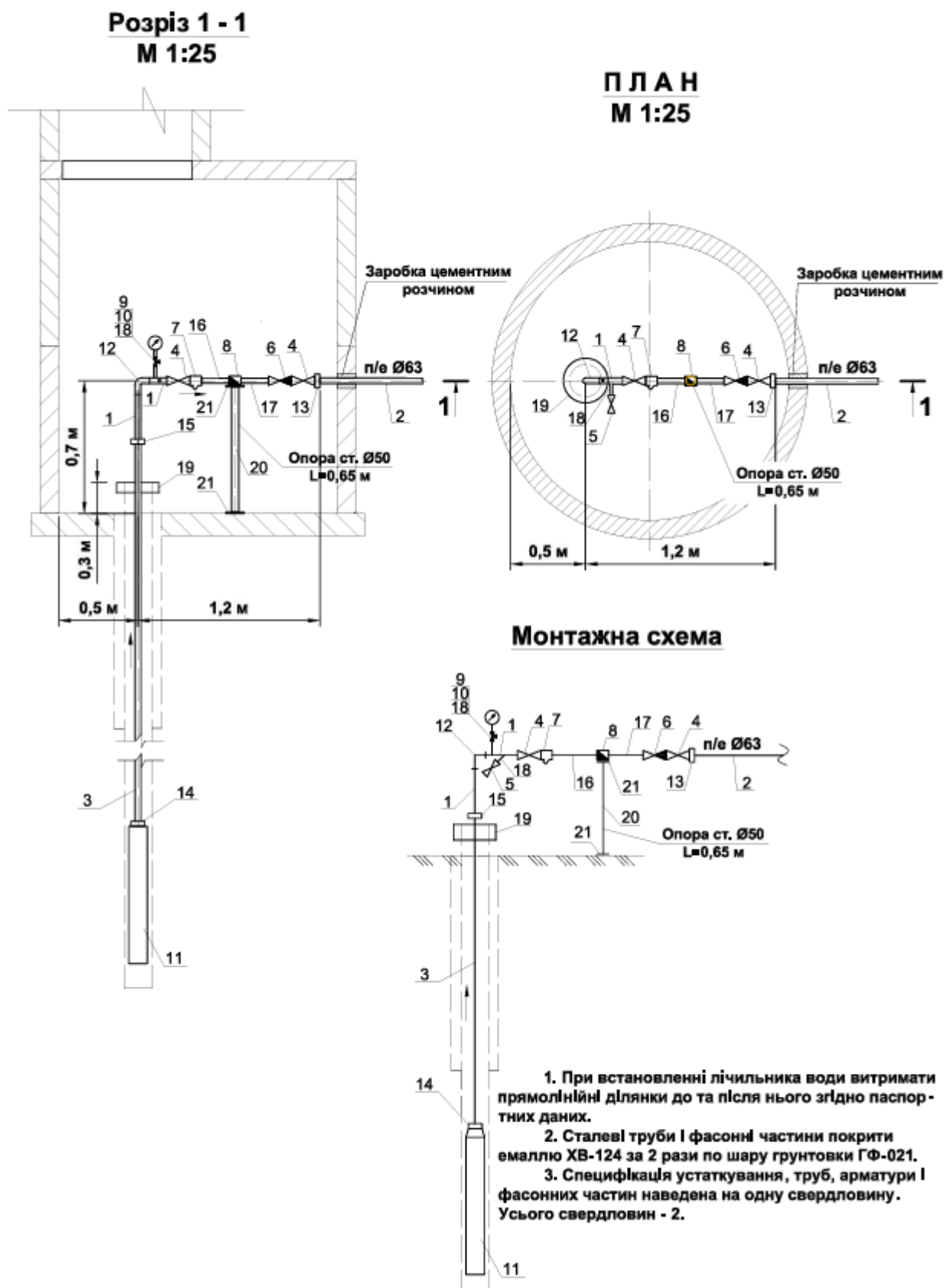


Рисунок 6.2 – Гідромеханічне обладнання свердловини

СПЕЦИФІКАЦІЯ УСТАТКУВАННЯ, ТРУБ, АРМАТУРИ І ФАСОННИХ ЧАСТИН (на одну свердловину)

Марка, поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Маса од., кг	Примітка
1.	ДСТУ 8943:2019	Труби сталеві Ø57x3,5 з двома різьбами 2" м	2	4,62	
2.	ДСТУ EN 12201-2:2018	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø63 типу SDR 17 м	3		
3.	ДСТУ EN 12201-2:2018	Труби поліетиленові ПЕ-100 Ø50 типу SDR 17 м	42		
4.	покупне	Кран кульовий ВРхЗР Ø50 (2"), PN16 шт.	2	1,05	
5.	покупне	Кран пробно-спускний Ø15, PN16 шт.	1	0,3	
6.	покупне	Клапан зворотний Ø50 (2"), PN16 шт.	1	0,82	
7.	покупне	Фільтр Ø50 (2"), PN16 шт.	1	1,018	
8.	ВСКМ-40	Лічильник води Ø40 з монтажним комплектом шт.	1		
9.	14M1	Кран трьохходовий Ø15 шт.	1	0,3	
10.	ГОСТ 2405-80	Манометр ОВМ 1-100 шт.	1	0,8	
11.	Фірма "Yildizsu"	Глибинний насос TM SUVER SVP 4012/19 потужністю 4 кВт шт.	1		
	покупне	Станція керування насосом Каскад-К 5-20 А з датчиком сухого ходу компл.	1		
	покупне	Трос нержавіючий 8 мм м	45		
12.	сталеве н. о.	Відвід ст. Ø50, α=90° шт.	1	0,12	
13.	покупне	Муфта п/е ЗР Ø63x2" шт.	1		
14.	покупне	Муфта п/е ЗР Ø50x2" шт.	1		
15.	покупне	Муфта п/е ВР Ø50x2" шт.	1		
16.	сталеве н. о.	Патрубок ст. Ø57x3,5, L=0,3 м з зовнішньою різьбою шт.	1	1,386	
17.	сталеве н. о.	Патрубок ст. Ø57x3,5, L=0,1 м з зовнішньою різьбою шт.	1	0,462	
18.	сталеве н. о.	Штуцер Ø15 з зовнішньою різьбою шт.	2	0,2	
19.	Мпласт	Герметизований оголовок свердловини 140/50 шт.	1		
20.	ДСТУ 8943:2019	Патрубок сталевий Ø57x3,5, L=0,65 м шт.	1	3,0	опора
21.	ДСТУ 8540:2015	Лист сталевий 6 мм 80x80 шт.	2	0,3	

Перекрыття колодязя повинно забезпечувати сприйняття розрахункових навантажень та виключати потрапляння поверхневих вод усередину споруди. Люк слід встановлювати врівень із планувальною відміткою території або з незначним підвищенням над нею для запобігання затіканню води.

Вентиляція підземної частини колодязя повинна бути природною. Для цього передбачається встановлення вентиляційних стояків із труб ПВХ діаметром

110 мм, розташованих на різних рівнях по висоті колодязя для забезпечення повітрообміну.

Вентиляційні стояки необхідно виводити вище рівня землі не менше ніж на 0,5 м. Верхні кінці труб повинні бути обладнані захисними ковпаками та металевими сітками для запобігання потраплянню атмосферних опадів, сторонніх предметів і дрібних тварин.

6.2 Електротехнічне обладнання свердловини

Проектований об'єкт водопостачання – свердловина для забезпечення господарсько-питних потреб населення – відповідно до вимог чинних нормативних документів у галузі електропостачання відноситься до III категорії надійності електропостачання. Згідно з класифікацією споживачів електричної енергії, дана категорія включає об'єкти, для яких допускаються перерви в електропостачанні на період, необхідний для виконання ремонтних або відновлювальних робіт, за умови відсутності загрози життю людей, значних матеріальних збитків або порушення складних технологічних процесів.

Враховуючи відносно невелику встановлену потужність та локальний характер споживання електроенергії, електропостачання свердловини здійснюється від існуючих мереж низької напруги. При цьому зовнішнє електропостачання, що включає підведення кабельної або повітряної лінії до об'єкта, вибір точки приєднання та засобів обліку електроенергії, передбачається виконувати за окремим спеціалізованим проектом, погодженим із енергопостачальною організацією.

Електроустановка свердловини проектується на стандартну напругу 380/220 В трифазного змінного струму частотою 50 Гц, що є типовим рішенням для живлення електродвигунів насосного обладнання. Такий вибір напруги забезпечує ефективну роботу електроприводу, зменшення струмового навантаження та підвищення енергетичної ефективності системи в цілому.

Загальна встановлена потужність електроспоживачів об'єкта становить 4 кВт, що визначається, в основному, потужністю електродвигуна занурювального насосного агрегату, а також допоміжними елементами системи керування і захисту. При цьому розрахункова потужність приймається з урахуванням коефіцієнтів попиту та одночасності, що забезпечує раціональне використання електроенергії та оптимальний підбір електрообладнання.

Розподіл електричної енергії між окремими споживачами здійснюється відповідно до розробленої принципової електричної схеми, наведеної у комплекті електротехнічних рішень (ЕТР). Дана схема відображає взаємозв'язок між джерелом живлення, розподільчими пристроями, апаратами захисту, керування та безпосередніми споживачами електроенергії (рис.6.3). Її застосування забезпечує надійну, безпечну та зручну експлуатацію електроустановки.

У межах реалізації проєкту передбачається виконання комплексу електромонтажних робіт, спрямованих на створення функціонально завершеної системи електроживлення свердловини.

Зокрема, безпосередньо біля свердловини встановлюється металевий захисний ящик (Я), який виконує функцію локального електротехнічного вузла (табл.6.1). У ньому розміщуються такі елементи системи електропостачання:

- розподільчий ящик (ЯР), призначений для прийому електроенергії від зовнішньої мережі та її подальшого розподілу між споживачами;
- пульт керування насосом (ПК), що забезпечує оперативне керування роботою насосного агрегату, включаючи його пуск, зупинку та контроль технічного стану.

Електричне з'єднання між розподільчим ящиком та пультом керування виконується за допомогою силового кабелю марки ВВГнг перерізом $5 \times 4 \text{ мм}^2$. Застосування кабелю з негорючою ізоляцією (нг) обумовлене вимогами пожежної безпеки, а вибір перерізу – допустимим струмовим навантаженням та умовами прокладання.

До пульта керування підключається електродвигун насосного агрегату (М1), який є основним споживачем електричної енергії на об'єкті. Крім того, до

системи керування інтегрується датчик сухого ходу, що виконує функцію захисту насосного обладнання від роботи в аварійному режимі.

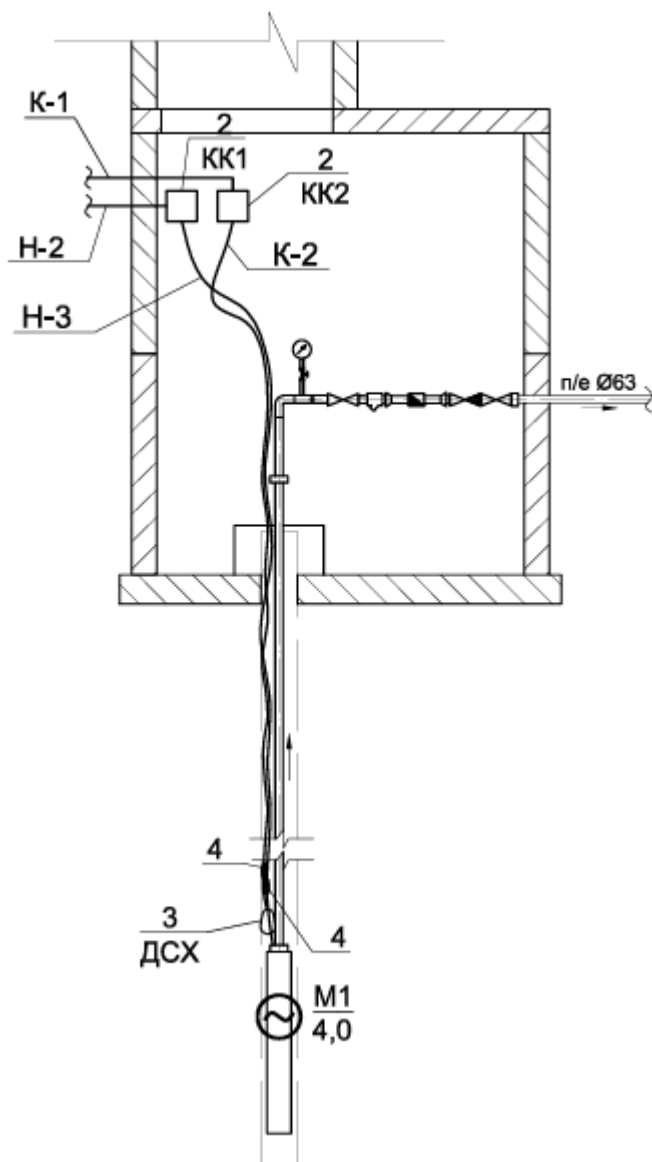


Рисунок 6.4 – Розташування електроустаткування і прокладання електричних мереж в свердловині

Таблиця 6.1 – Специфікація електроустаткування у свердловині

Поз.	Позначення	Назва	Кількість	Маса од., кг	Примітка
1	М1	Насос занурювальний TM SUVER SVP 4012/19	1		див.комплект ZL6SAW-1-BC
2	KK1, KK2	Коробка клемна У614А, IP54	2		
3	ДСХ	Датчик сухого ходу	1		див.комплект ZL6SAW-1-BC
4		Муфта сполучна заливна для багатожильного кабелю 91-NBA1	2		

Робота свердловини передбачається у ручному режимі керування, що є доцільним для об'єктів з невеликою продуктивністю та періодичним характером водоспоживання. У такому режимі оператор має можливість безпосередньо контролювати процес подачі води, здійснюючи вмикання та вимикання насоса залежно від потреб.

З метою підвищення надійності роботи обладнання та запобігання його передчасному зносу, у проєкті передбачено встановлення датчика сухого ходу (ДСХ). Принцип його роботи полягає у контролі наявності води у свердловині: у випадку зниження рівня води нижче допустимого значення або припинення її надходження, датчик формує сигнал на відключення електродвигуна. Це дозволяє уникнути перегріву, кавітації та механічних пошкоджень насосного агрегату.

Одним із ключових елементів забезпечення електробезпеки є улаштування захисного заземлення. Усі металеві неструмоведучі частини електрообладнання, які в нормальному режимі не перебувають під напругою, але можуть опинитися під нею внаслідок пошкодження ізоляції, підлягають обов'язковому приєднанню до заземлювального пристрою.

Заземлювальний контур виконується у вигляді замкненої системи електродів, що складається з трьох вертикальних заземлювачів із круглої сталі діаметром 16 мм та довжиною 5 м, які занурюються у ґрунт на відповідну глибину. Вертикальні електроди з'єднуються між собою горизонтальною смуговою сталлю перерізом 40×4 мм, яка одночасно виконує функцію заземлювальної шини.

Отриманий контур з'єднується з корпусами електрообладнання за допомогою захисних провідників. Така конструкція забезпечує надійне відведення струмів замикання на землю та зменшує напругу дотику до безпечного рівня.

Згідно з вимогами нормативних документів, опір заземлювального пристрою повинен становити не більше 4 Ом у будь-який період року, незалежно від сезонних змін вологості та температури ґрунту. Для досягнення цього значення можуть застосовуватися додаткові заходи, зокрема збільшення кількості електродів або покращення провідності ґрунту.

Окрему увагу необхідно приділити виконанню системи зрівнювання потенціалів, яка передбачає електричне з'єднання між собою всіх доступних металевих частин обладнання та конструкцій. Це дозволяє уникнути виникнення небезпечних різниць потенціалів та підвищує рівень електробезпеки обслуговуючого персоналу.

При цьому слід суворо дотримуватися вимоги щодо розділення нульового робочого (N) та нульового захисного (PE) провідників. Їх об'єднання або підключення до одного контактного затискача не допускається, оскільки це може призвести до виникнення небезпечних ситуацій при пошкодженні мережі.

Всі електромонтажні роботи повинні виконуватися спеціалізованими організаціями або кваліфікованим персоналом із дотриманням вимог чинних нормативно-технічних документів, зокрема Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), державних будівельних норм (ДБН), а також стандартів з охорони праці та техніки безпеки.

7 ЗОНИ САНІТАРНОЇ ОХОРОНИ

З метою забезпечення належної якості питної води та запобігання її забрудненню в районі розміщення водозабірної свердловини передбачається організація зон санітарної охорони (ЗСО). Встановлення зон санітарної охорони є обов'язковою вимогою при проєктуванні та експлуатації підземних водозаборів і регламентується чинними санітарними нормами та правилами.

Зони санітарної охорони – це спеціально виділені території навколо водозабірної споруди, в межах яких встановлюється особливий режим господарської діяльності з метою захисту водоносного горизонту від хімічного, біологічного та механічного забруднення. Організація ЗСО спрямована на забезпечення стабільної якості підземних вод, що використовуються для господарсько-питного водопостачання населення.

Відповідно до нормативних вимог [6], зона санітарної охорони свердловини поділяється на три пояси: пояс суворого режиму, пояс обмежень та пояс спостереження.

7.1. Санітарно-топографічна характеристика території зони санітарної охорони

Артезіанські свердловини призначені для централізованого водопостачання селища Олександрівка Краматорського району Донецької області. Свердловини розміщуються на південно-східній околиці населеного пункту з урахуванням санітарних, гідрогеологічних та містобудівних умов.

Відповідно до вимог п. 15.2.1 ДБН [6], для підземних джерел водопостачання обов'язковим є встановлення зон санітарної охорони (ЗСО), які складаються з трьох поясів: I поясу (суворого режиму), II поясу (обмежень) та III поясу

(спостереження). Правовий режим використання територій у межах кожного поясу визначається постановою [28].

За результатами натурного обстеження території встановлено, що в межах I поясу ЗСО свердловин відсутні будівлі, споруди та інші об'єкти, не пов'язані з експлуатацією водозабору. Найближча житлова забудова розташована на відстані понад 170 м, що відповідає чинним нормативам [6]. Територія першого поясу підлягає обов'язковому благоустрою: плануванню поверхні, впорядкуванню, огороженню та організації цілодобової охорони з метою запобігання можливому забрудненню джерела водопостачання.

У межах II поясу ЗСО розташована переважно незабудована територія. Проведене натурне обстеження не виявило наявності потенційних джерел забруднення підземних вод, зокрема об'єктів господарської діяльності, складів, звалищ або інженерних споруд, що можуть негативно впливати на якість води.

III пояс ЗСО охоплює незабудовані території та частково зону приватної житлової забудови селища Олександрівка. За результатами обстеження встановлено відсутність джерел забруднення, визначених у пп. 15.3.2 та 15.3.3 [6], зокрема об'єктів, що можуть спричинити хімічне або бактеріологічне забруднення водоносного горизонту.

Отже, стан території в межах усіх поясів зони санітарної охорони відповідає нормативним вимогам і дозволяє забезпечити належний рівень захисту підземних вод від забруднення за умови дотримання встановленого режиму використання територій.

7.2 Зона санітарної охорони суворого режиму

Артезіанські свердловини розміщуються на вільній від забудови території південно-східної околиці селища Олександрівка.

Аналіз умов водоспоживання та режиму експлуатації об'єкта свідчить, що для забезпечення стабільного водопостачання необхідним є безперервний режим

роботи свердловин протягом року. Такий режим дозволяє підтримувати рівномірну подачу води споживачам та уникнути різких коливань рівнів підземних вод у водоносному горизонті.

Згідно з результатами гідрогеологічних досліджень, свердловини облаштовуються на водоносний горизонт тріщинуватих пісковиків палеогенових відкладів, який залягає в інтервалі глибин від 32,9 до 73,5 м. Проведений аналіз фільтраційних властивостей порід і результатів дослідно-експлуатаційних робіт показує, що розрахунковий дебіт кожної свердловини становить до 10 м³/год за умови зниження динамічного рівня води на 3,3 м, що є достатнім для покриття потреб споживачів.

Важливим фактором, що визначає умови експлуатації водозабору, є ступінь захищеності водоносного горизонту. Дослідження геологічної будови ділянки свідчать, що водоносний горизонт перекритий потужною товщею глинистих ґрунтів, які характеризуються низькою водопроникністю. Це забезпечує природний бар'єр на шляху можливого проникнення забруднюючих речовин з поверхні. Враховуючи зазначене, а також відсутність інтенсивного техногенного навантаження на території, водоносний горизонт класифікується як захищений.

Аналіз гідродинамічних умов показує, що напрямок руху підземних вод у межах водоносного комплексу орієнтований у бік долини річки Самара, що узгоджується із загальним ухилом рельєфу та умовами живлення горизонту. Це додатково знижує ризик локального накопичення забруднюючих речовин у зоні водозабору.

З урахуванням наведених гідрогеологічних, санітарно-гігієнічних та топографічних умов, а також відповідно до вимог п. 15.2.1.1 [6], для водозаборів, що експлуатують захищені водоносні горизонти, зона санітарної охорони суворого режиму для кожної свердловини приймається радіусом $R = 15$ м. Розрахунок площі першого поясу показує, що вона становить 0,07 га для кожної свердловини, що відповідає нормативним вимогам.

Аналіз існуючого стану території в межах першого поясу зони санітарної охорони свідчить про відсутність об'єктів і споруд, не пов'язаних із

функціонуванням водозабору, що відповідає вимогам санітарного законодавства. Водночас для забезпечення належного рівня захисту підземних вод передбачається виконання комплексу інженерно-організаційних заходів.

Зокрема, територія зони суворого режиму підлягає обов'язковому впорядкуванню: виконується планування поверхні з організацією відведення атмосферних та талих вод від гирла свердловини, що запобігає їх інфільтрації у пригирлову зону. Крім того, передбачається утримання території у належному санітарному стані, що виключає накопичення побутових або природних забруднень.

З метою обмеження доступу сторонніх осіб та недопущення несанкціонованої діяльності, яка може призвести до забруднення водозабору, передбачається огороження території першого поясу по його периметру. Аналіз проєктних рішень показує, що влаштування огорожі доцільно виконувати за окремим проєктом із урахуванням місцевих умов та вимог експлуатаційної безпеки.

Додатково слід зазначити, що ефективність функціонування зон санітарної охорони значною мірою залежить від організації контролю за їх дотриманням. Тому територія першого поясу повинна перебувати під постійним наглядом, що дозволяє своєчасно виявляти та усувати потенційні джерела забруднення.

Таким чином, проведений аналіз природних умов, гідрогеологічних характеристик та проєктних рішень свідчить про те, що прийняті параметри зони санітарної охорони повністю відповідають чинним нормативним вимогам і забезпечують надійний захист підземних вод від забруднення. Реалізація передбачених заходів дозволить гарантувати стабільну якість питної води та безпечну експлуатацію водозабірних свердловин упродовж усього терміну їх роботи.

7.3 Зона санітарної охорони другого поясу

Обґрунтування меж зони санітарної охорони другого поясу базується на оцінці умов поширення можливих забруднень у водоносному горизонті та їх впливу на якість підземних вод у районі водозабору. Визначення контуру другого

поясу здійснюється з урахуванням того, що у разі потрапляння забруднюючих речовин у межах цієї зони або за її межами вони не повинні досягати водозабору або можуть досягти його лише через певний проміжок часу.

При цьому характер поведінки забруднень у підземному середовищі суттєво залежить від їх природи. Зокрема, мікробіологічні забруднення мають обмежений термін життєздатності у водоносному пласті, тому за достатнього часу фільтрації вони втрачають активність і не становлять небезпеки для водозабору. Водночас хімічні забруднення, які умовно вважаються стійкими, можуть переміщуватися разом із підземним потоком без істотного зменшення концентрації. З огляду на це, при розрахунках приймається умова, що такі забруднення не повинні досягати водозабору раніше завершення розрахункового терміну його експлуатації.

Для забезпечення ефективного захисту підземного джерела водопостачання від мікробного забруднення необхідно, щоб час міграції забруднюючих речовин від межі другого поясу до водозабору перевищував період виживання патогенних мікроорганізмів. Таким чином, розрахунковий час фільтрації повинен бути достатнім для природного самоочищення підземних вод.

У даному проєкті при визначенні параметрів зони санітарної охорони другого поясу прийнято, що свердловини працюють у безперервному режимі протягом року. Тривалість збереження життєздатності мікроорганізмів у підземних водах, відповідно до нормативних та довідкових даних, приймається рівною 400 діб, що використовується як розрахунковий критерій при визначенні меж зони.

Визначення розмірів зон санітарної охорони другого та третього поясів у проєкті виконано із застосуванням методу аналітичних гідродинамічних розрахунків. Розрахункова схема відповідає умовам роботи водозабору в необмеженому водоносному пласті за наявності природного потоку підземних вод, спрямованого у бік свердловини. Такий підхід дозволяє адекватно врахувати вплив як експлуатаційного водовідбору, так і природного руху підземних вод.

Методика визначення меж зон санітарної охорони прийнята з урахуванням рекомендацій спеціалізованих науково-дослідних установ у галузі гідрогеології,

що забезпечує обґрунтованість і достовірність отриманих результатів для різних природних умов.

Формування притоку підземних вод до водозабірної свердловини відбувається в межах так званої області захоплення, тобто частини водоносного горизонту, з якої підземні води протягом розрахункового періоду надходять до свердловини. Межі цієї області визначаються положенням нейтральних ліній току, які обмежують зону впливу водозабору. Слід зазначити, що зі збільшенням тривалості експлуатації свердловини розміри області захоплення поступово зростають, що необхідно враховувати при довгостроковому прогнозуванні умов роботи водозабору.

Для виконання гідродинамічних розрахунків використано узагальнені параметри водоносного горизонту палеогенових відкладів, представленого тріщинуватими пісковиками, які прийняті за матеріалами попередніх досліджень. Основні розрахункові характеристики для кожної свердловини прийняті такими:

- середня потужність водоносного горизонту – **$m = 38,6$ м;**
- коефіцієнт фільтрації – **$k = 3,0$ м/добу;**
- водопровідність (трансмівність) – **$km = 115,8$ м²/добу;**
- активна пористість – прийнята відповідно до довідкових даних для даного типу порід;
- продуктивність водозабору – **$Q = 240$ м³/добу** (максимально можлива);
- гідравлічний ухил природного потоку – **$i = 0,002$;**
- витрата природного потоку підземних вод – **$q = km \cdot i = 0,232$ м²/добу;**
- розрахунковий час виживання мікроорганізмів – **$T = 400$ діб.**

На основі зазначених параметрів виконується визначення меж області живлення водозабору. Зокрема, нижньою за потоком межею цієї області є точка, у якій нейтральна лінія току перетинає вісь потоку. Відстань від водозабірної свердловини до цієї точки визначається за відповідними аналітичними залежностями, що враховують гідродинамічні характеристики водоносного горизонту та режим роботи водозабору.

Межовою точкою області живлення підземного водозабору вниз за потоком приймається точка N – перетин нейтральної лінії струму з віссю x . Схема до розрахунку ЗСО для зосередженого водозабору в ізолюваному водоносному горизонті, віддаленому від поверхневих водотоків, наведено на рис.7.1.

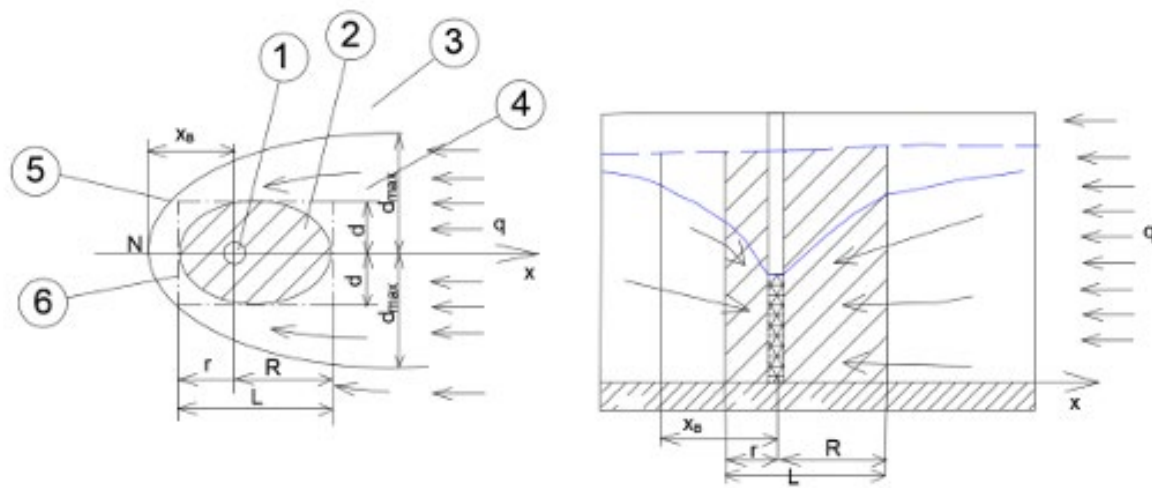


Рисунок 7.1 – Схема до розрахунку ЗСО в необмеженому пласті: 1 – свердловина; 2 – область затоплення (ЗСО); 3 – транзитна область; 4 – область живлення; 5 – гранична лінія току; 6 – межа ЗСО.

Відстань від водозабору до цієї точки обчислюється за відповідною формулою

$$X_p = \frac{Q}{2\pi q}, \quad (7.1)$$

де Q – дебіт свердловини, $\text{м}^3/\text{добу}$; q – витрата природного потоку підземних вод, $\text{м}^2/\text{добу}$.

$$q = k \cdot m \cdot i, \quad (7.2)$$

де k – коефіцієнт фільтрації водоносного горизонту, $\text{м}/\text{добу}$; m – потужність водоносного горизонту, м ; i – похил природного потоку підземних вод.

$$q = 3 \cdot 38,6 \cdot 0,002 = 0,232 \text{ м}^2/\text{добу}.$$

$$X_p = \frac{240}{2 \times 3,14 \times 0,232} = 165 \text{ м.}$$

Гранична точка області захоплення на заданий розрахунковий момент часу розташовується нижче за напрямком руху підземного потоку між водозабірною свердловиною та точкою N . Її положення, а також просторові параметри області захоплення – протяжність у напрямку, протилежному потоку, і поперечні розміри – змінюються залежно від тривалості експлуатації водозабору. Зі збільшенням часу роботи свердловини спостерігається поступове розширення зони впливу, що безпосередньо враховується при встановленні меж другого та третього поясів зони санітарної охорони.

Кількісна оцінка зазначених параметрів виконується із застосуванням безрозмірних характеристик, що залежать від приведеного часу. Величина приведенного часу визначається на основі співвідношення між фактичним часом експлуатації водозабору та гідрогеологічними параметрами водоносного горизонту.

$$T = \frac{qT}{m\mu X_p}, \quad (7.3)$$

де μ – активна пористість водоносної товщі; T – тривалість виживання мікроорганізмів, приймаємо 400 діб.

$$T = \frac{0,232 \times 400}{38,6 \times 0,2 \times 165} = 0,073.$$

З метою спрощення розрахунків і підвищення їх надійності використано узагальнені табличні залежності, отримані на основі аналітичних рішень задач фільтрації підземних вод. На підставі цих залежностей визначено безрозмірні коефіцієнти, що характеризують геометричні параметри області захоплення, а

саме відносні величини довжини зони у напрямку потоку, протилежному потоку та її ширини (табл.7.1).

Таблиця 7.1 – Величини R, r і d у залежності від приведенного часу T

T	R	r	d	T	R	r	d
0,01	0,149	0,135	0,142	5	7,091	0,998	2,415
0,02	0,213	0,187	0,200	6	8,222	0,999	2,522
0,05	0,351	0,284	0,315	7	9,336	1	2,605
0,1	0,517	0,384	0,445	8	10,437	1	2,670
0,2	0,773	0,507	0,626	9	11,528	1	2,722
0,3	0,987	0,589	0,762	10	12,611	1	2,765
0,5	1,358	0,699	0,973	15	17,942	1	2,895
1	2,147	0,842	1,338	20	23,186	1	2,961
2	3,506	0,948	1,789	30	33,543	1	3,025
3	4,750	0,982	2,074	50	54,008	1	3,074
4	5,937	0,994	2,271	100	104,661	1	3,109

Перехід до реальних (розмірних) значень виконано шляхом множення отриманих безрозмірних коефіцієнтів на характерний лінійний масштаб фільтраційного потоку. У результаті розрахунків встановлено наступні параметри зони санітарної охорони другого поясу для кожної зі свердловин:

- протяжність у напрямку, протилежному руху підземних вод (вгору за потоком) – 70 м;
- протяжність у напрямку руху підземних вод (вниз за потоком) – 54 м;
- максимальна ширина зони – 124 м.

Отримані значення свідчать про асиметричну форму області захоплення, що обумовлено впливом природного потоку підземних вод і режимом експлуатації свердловини.

Розрахункова площа зони санітарної охорони другого поясу для кожної водозабірної свердловини становить близько 1,2 га, що відповідає прийнятим гідрогеологічним умовам та забезпечує необхідний рівень захисту підземного джерела від мікробного забруднення.

7.4 Зона санітарної охорони третього поясу

Визначення меж зони санітарної охорони третього поясу для кожної проектованої свердловини здійснюється з урахуванням умов можливого поширення хімічних забруднень у водоносному горизонті. Основним критерієм при цьому є забезпечення такого положення контуру зони, за якого забруднюючі речовини, що можуть потрапити за її межами, або не досягнуть водозабору взагалі, рухаючись разом із підземним потоком поза межами області живлення, або досягнуть його не раніше завершення розрахункового періоду експлуатації.

Величина приведенного часу визначається за в формулою (7.3). Для третього поясу прийнято розрахунковий період, що відповідає тривалості експлуатації водозабору – 25 років (9000 діб). Такий підхід забезпечує довгостроковий захист підземних вод від впливу стійких хімічних забруднень, які здатні зберігатися у водоносному середовищі без істотної деградації.

$$T = \frac{0,232 \times 9000}{38,6 \times 0,2 \times 165} = 1,64.$$

На основі використання узагальнених аналітичних залежностей та відповідних табличних даних визначено безрозмірні коефіцієнти, які характеризують просторові параметри області захоплення. Подальший перехід до реальних розмірів виконано шляхом множення отриманих коефіцієнтів на характерний масштаб фільтраційного потоку.

У результаті розрахунків встановлено такі параметри зони санітарної охорони третього поясу для кожної свердловини:

- протяжність у напрямку, протилежному руху підземних вод (вгору за потоком) – 498 м;
- протяжність у напрямку руху підземних вод (вниз за потоком) – 150 м;
- максимальна ширина зони – 536 м.

Сформована зона має виражену асиметричну конфігурацію, що обумовлено впливом природного гідродинамічного потоку та тривалим періодом експлуатації водозабору. Збільшення розмірів третього поясу порівняно з другим є закономірним і пов'язане з необхідністю врахування більш тривалого часу міграції потенційних хімічних забруднень.

Розрахункова площа зони санітарної охорони третього поясу для кожної свердловини становить 27,1 га, що забезпечує достатній рівень просторового захисту водоносного горизонту.

7.5 Санітарно-оздоровчі заходи, що повинні проводитися в зонах санітарної охорони свердловини

З метою забезпечення можливості подальшого використання підземних вод даного водоносного горизонту для господарсько-питного водопостачання, а також для попередження та усунення ризиків їх забруднення, у межах кожного поясу зони санітарної охорони (ЗСО) проектованої розвідувально-експлуатаційної свердловини передбачається впровадження комплексу санітарно-оздоровчих заходів (табл.7.2).

Таблиця 7.2 - Санітарно-оздоровчі заходи в межах ЗСО водозабірної свердловини

№ п/п	Заходи	Виконавець	Термін виконання
1	2	3	4
I-й пояс зони санітарної охорони водозабірної свердловини			
1.	Огородити територію зони суворого режиму і стежити за її збереженням.	КП «ВІДНОВА»	2026 р. постійно
2.	Попередити охорону про заходи щодо утримання зони суворого режиму і недопущення знаходження в межах обгородженої території зони суворого режиму громадян, що не мають відношення до експлуатації водозабірної свердловини.	КП «ВІДНОВА»	постійно
3.	Заборонити усі види будівництва, які безпосередньо не пов'язані з експлуатацією, реконструкцією чи розширенням водозабору	КП «ВІДНОВА»	постійно

1	2	3	4
4.	Заборонити прокладання трубопроводів різного призначення, за винятком тих, що обслуговують водопровідні споруди	КП «ВІДНОВА»	постійно
5.	Територію зони суворого режиму озеленити, упорядкувати, спланувати для відводу поверхневих вод за межі території першого поясу	КП «ВІДНОВА»	2026 р.
6.	Суворо дотримуватися санітарно-технічних вимог до конструкції герметичного оголовку водозабірної свердловини	КП «ВІДНОВА»	постійно
7.	Необхідно регулярно проводити профілактичний огляд водопровідних мереж для своєчасного усунення витоків у підстилаючі ґрунти	КП «ВІДНОВА»	постійно
II-й пояс зони санохорони водозабірної свердловини			
1.	Необхідно регулярно проводити профілактичний огляд водопровідних мереж зі спорудами для своєчасного усунення витоків у підстилаючі ґрунти	КП «ВІДНОВА»	Постійно
2.	Виявлення, тампонування (або відновлення) всіх старих, недіючих, дефектних свердловин та джерел, що неправильно експлуатуються і представляють небезпеку в частині можливості забруднення водоносного горизонту	Олександрівська селищна рада	Постійно
3.	Регулювання буріння нових свердловин відповідно до вимог чинного законодавства	Олександрівська селищна рада	Постійно
4.	Заборонити закачування відпрацьованих вод у підземні горизонти, підземне складування твердих відходів і розробку надр (для запобігання забрудненню водоносного горизонту)	Олександрівська селищна рада	Постійно
5.	Заборонити розміщення складів ПММ, отрутохімікатів і мінеральних добрив, накопичувачів промислових стічних вод, шламосховищ та інших об'єктів (для запобігання небезпечному хімічному забрудненню джерел водопостачання)	Олександрівська селищна рада	Постійно
6.	Забороняється розміщення кладовищ, скотомогильників, споруд очищення стічних вод, полігонів відходів, мулових майданчиків, с.-г. об'єктів, а також інших об'єктів, що можуть спричинити мікробне забруднення джерел водопостачання.	Олександрівська селищна рада	Постійно
7.	Заборонити зберігання і застосування пестицидів та мінеральних добрив	Олександрівська селищна рада	Постійно
8.	Забезпечити виконання робіт із санітарного благоустрою території та організацію відведення побутових і виробничих стічних вод.	Олександрівська селищна рада	Постійно
III-й пояс зони санохорони водозабірної свердловини			
1.	Виявлення, тампонування (або відновлення) всіх старих, недіючих, дефектних свердловин та джерел, що неправильно експлуатуються і представляють небезпеку в частині можливості забруднення водоносного горизонту	Олександрівська селищна рада	Постійно
2.	Регулювання буріння нових свердловин відповідно до вимог чинного законодавства	Олександрівська селищна рада	Постійно
3.	Заборонити закачування відпрацьованих вод у підземні горизонти, підземне складування твердих відходів і розробку надр (для запобігання забрудненню водоносного горизонту)	Олександрівська селищна рада	Постійно
4.	Заборонити розміщення складів паливно-мастильних матеріалів, отрутохімікатів і мінеральних добрив, накопичувачів промислових стічних вод, шламосховищ та інших об'єктів (для запобігання небезпечному хімічному забрудненню)	Олександрівська селищна рада	Постійно

8. КОШТОРИСНА ВАРТІСТЬ

8.1 Розрахунок вартості будівництва водозабірної свердловини

Кошторисна вартість будівництва водозабірної свердловини визначена із застосуванням ресурсного методу з використанням програмного комплексу АВК-5, який є одним із базових інструментів автоматизованого визначення вартості будівництва в Україні. Розрахунок виконано відповідно до чинної нормативної бази ціноутворення у будівництві, зокрема «Настанови з визначення вартості будівництва» [29], що регламентує склад витрат, порядок їх визначення та структуру інвесторської кошторисної документації.

Вартість будівництва свердловини сформована у складі локального кошторису на бурові роботи, облаштування свердловини та супутні будівельно-монтажні процеси. Розрахунок здійснювався на підставі ресурсних елементних кошторисних норм (РЕКН), що входять до складу кошторисної нормативної бази України [30].

При визначенні вартості застосовано такі основні складові: прямі витрати (заробітна плата, експлуатація машин і механізмів, матеріальні ресурси); загальновиробничі витрати; кошторисний прибуток; адміністративні витрати; кошти на покриття ризиків та інфляційних процесів.

Розрахунок виконано у поточному рівні цін із використанням нормативно-довідкової інформації (НДІ), інтегрованої у програмний комплекс АВК-5, з урахуванням індексів зміни вартості ресурсів [31].

Прямі витрати визначаються на підставі обсягів робіт і відповідних кошторисних норм. Для буріння водозабірної свердловини враховано такі основні процеси: буріння свердловини роторним способом з прямою промивкою; обсадження пластмасовими трубами; цементация затрубного простору; промивка та освоєння свердловини; монтаж насосного обладнання.

Кожен вид робіт у кошторисі представлений у вигляді ресурсної норми, що містить витрати праці, машинного часу та матеріалів. Вартість ресурсів визначається на основі поточних цін, що уточнюються відповідно до ринкової ситуації [31].

Загальновиробничі витрати визначаються у відсотках до прямих витрат згідно з нормативами, встановленими чинною кошторисною базою. Кошторисний прибуток враховує економічну зацікавленість підрядної організації та встановлюється відповідно до класу наслідків об'єкта будівництва та виду робіт [30].

Адміністративні витрати включають витрати на управління підприємством і визначаються укрупненими нормативами.

До складу кошторисної вартості також включені: кошти на покриття ризиків, пов'язаних з виконанням будівельних робіт; інфляційні витрати, що визначаються з урахуванням прогнозних індексів зміни вартості будівництва; витрати на утримання служби замовника та технічний нагляд (за необхідності).

Програмний комплекс АВК-5 забезпечує: автоматизоване формування локальних, об'єктних та зведених кошторисів; використання актуальної нормативної бази; розрахунок вартості будівництва відповідно до чинних стандартів і правил; можливість коригування вартості залежно від умов будівництва.

Застосування АВК-5 дозволяє підвищити точність розрахунків і забезпечити відповідність кошторисної документації вимогам чинного законодавства.

Кошторисний розрахунок вартості будівництва водозабірної свердловини виконаний відповідно до чинних нормативних документів України із застосуванням ресурсного методу та програмного комплексу АВК-5. Отримані результати (додаток) забезпечують достовірне визначення вартості будівництва та можуть бути використані для формування інвесторської кошторисної документації і договірної ціни.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що загальна вартість будівництва водозабірної свердловини становить 1744,670 тис. грн.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту комплексно розв'язано інженерно-гідрогеологічне завдання, що полягає у проєктуванні будівництва водозабірної свердловини глибиною 73 м у тріщинуватих породах для забезпечення стабільного та якісного водопостачання.

На початковому етапі дослідження виконано всебічний аналіз природних умов району. Зокрема, охарактеризовано геологічну будову території, літологічний склад порід, гідрогеологічні особливості та умови формування підземних вод. Встановлено, що водоносний горизонт приурочений до зеленого глауконітового тріщинуватого пісковика, який є водонасиченим і характеризується достатніми фільтраційними властивостями. Отримані результати дозволили обґрунтувати вибір типу водозабірної споруди та визначити її основні конструктивні параметри.

У проєкті прийнято одноколонну конструкцію свердловини. Фільтр представлено перфорованою трубою діаметром 140 мм із нПВХ, що є оптимальним рішенням для умов тріщинуватих порід. З метою забезпечення герметичності конструкції та захисту водоносного горизонту від забруднення передбачено цементацію затрубного простору обсадної колони діаметром 200 мм в інтервалі 0–32,9 м. Зазначене технічне рішення унеможливило міжпластові перетоки та проникнення поверхневих і ґрунтових вод у експлуатаційний інтервал.

Значну увагу приділено вибору технології буріння свердловини. Обґрунтовано застосування промивання слабким глинистим розчином, який забезпечує стабілізацію стінок стовбура, знижує ризик обвалів і поглинань, а також сприяє ефективному винесенню вибуреної породи на поверхню. Запропонована технологія відповідає інженерно-геологічним умовам району та гарантує безперервність бурових робіт і досягнення проєктної глибини.

У межах проєкту виконано розрахунок основних параметрів свердловини, зокрема діаметрів буріння, обсадних колон, глибин їх встановлення, а також конструкції вибою. Прийняті технічні рішення забезпечують стійкість стовбура

свердловини, її довговічність та ефективну експлуатацію протягом усього розрахункового терміну.

Здійснено підбір водопідіймального обладнання з урахуванням гідрогеологічних умов, очікуваного дебіту свердловини та потреб водоспоживача. Для експлуатації обрано занурювальний насос TM SUVER SVP 4012/19 виробництва «Yildizsu», який забезпечує продуктивність до 10,0 м³/год. Обране обладнання відзначається надійністю, енергоефективністю та простотою технічного обслуговування, що дозволяє гарантувати стабільну подачу води за мінімальних експлуатаційних витрат.

Запроектовано наземне облаштування свердловини, яке передбачає встановлення герметичного оголовка та спорудження захисного колодязя над гирлом. Такі конструктивні елементи забезпечують захист свердловини від механічних пошкоджень, атмосферних впливів і потрапляння сторонніх предметів, а також створюють належні умови для монтажу й обслуговування насосного обладнання.

Важливим складником проекту є обґрунтування заходів з охорони підземних вод. Розраховано зони санітарної охорони водозабору з виділенням трьох поясів: суворого режиму, обмежень і спостереження. Для кожного поясу визначено відповідні регламентовані обмеження господарської діяльності. Запропоновані заходи спрямовані на запобігання хімічному, бактеріологічному та механічному забрудненню підземних вод і забезпечують їх відповідність вимогам до якості питної води.

У межах дипломного проекту також розглянуто питання організації та технології виконання бурових робіт, включаючи підготовку бурового майданчика, монтаж обладнання, послідовність виконання технологічних операцій і заходи з охорони праці. Запропоновані рішення забезпечують безпечне ведення робіт, зниження виробничих ризиків і відповідність чинним нормативним вимогам.

Виконано техніко-економічне обґрунтування проекту. Загальна кошторисна вартість будівництва свердловини становить 1744,67 тис. грн. Проведений аналіз підтвердив економічну доцільність прийнятих технічних рішень, оскільки вони забезпечують оптимальне співвідношення між капітальними витратами та

експлуатаційною ефективністю. Використання сучасного обладнання і раціональних технологічних підходів сприяє зниженню витрат на будівництво та подальшу експлуатацію свердловини.

Отже, у дипломному проєкті розроблено комплекс взаємопов'язаних технічних, технологічних, санітарно-екологічних та економічних рішень щодо будівництва водозабірної свердловини. Прийняті рішення відповідають сучасним вимогам у сфері водопостачання та забезпечують надійність, довговічність і безпечність експлуатації споруди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про організацію захисту та забезпечення безпеки функціонування об'єктів критичної інфраструктури та енергетики України в умовах ведення воєнних дій : Рішення РНБО України від 17.10.2023, введене в дію Указом Президента України № 695/2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0040525-23> (дата звернення: 07.04.2026).
2. Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для розвитку та відновлення інфраструктури : Постанова Кабінету Міністрів України від 13.06.2023 № 619. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/619-2023-п> (дата звернення: 07.04.2026).
3. Ukraine Recovery Programme : програма відновлення України (Європейський інвестиційний банк). URL: <https://dream.gov.ua/public-program/DREAM-UA-110825-0BE610AE> (дата звернення: 07.04.2026).
4. Ukraine Recovery Programme III : програма відновлення критичної та соціальної інфраструктури. URL: <https://dream.gov.ua/public-program/DREAM-UA-050825-526B870F> (дата звернення: 07.04.2026).
5. Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України. Критична інфраструктура : офіц. вебсайт. URL: <https://restoration.gov.ua/projects/krytychna-infrastruktura/> (дата звернення: 07.04.2026).
6. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 172 с.
7. Дудніков М. Особливості геологічної будови південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини (Бахмутська котловина) // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2012. – № 59. – С. 38–42.

8. Геологія і корисні копалини України / Д. Є. Макаренко // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс] / редкол. : І. М. Дзюба, А. І. Жуковський, М. Г. Железняк [та ін.] ; НАН України, НТШ. – Київ: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2006. – Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-29137>.
9. Національний атлас України / ред. Л. Г. Руденко. – Київ : ДНВП «Картографія», 2007. – 435 с.
10. Камзіст Ж. С., Шевченко О. Л. Гідрогеологія України. Навчальний посібник. – Київ: Фірма «ІНКОС», 2009. – 614 с. ISBN 978-966-8347-79-5
11. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Київ : МОЗ України, 2010. – 52 с.
12. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут. К.: Вид-во Раєвського. 2003. 344 с.
13. Про критичну інфраструктуру : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20> (дата звернення: 07.04.2026).
14. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України щодо захисту критичної інфраструктури в умовах воєнного стану : Указ Президента України № 695/2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> (дата звернення: 07.04.2026).
15. Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України : офіц. вебсайт. URL: <https://restoration.gov.ua> (дата звернення: 07.04.2026).
16. Ukraine Recovery Programme : офіційний портал відновлення DREAM. URL: <https://dream.gov.ua> (дата звернення: 07.04.2026).
17. Шестопалов В. М. Гідрогеологія : підручник. – Київ : ВПЦ «Київський університет», 2005. – 320 с.
18. Довідник з буріння свердловин на воду / за ред. В. С. Бойка. – Київ : Урожай, 1992. – 248 с.

- 19.Кравченко В. С., Орлов В. О. Водозабірні споруди підземних вод : навч. посіб. Київ : Вища школа, 2008. 287 с.
- 20.Орлов В. О., Назаренко І. І. Водопостачання та водовідведення : підручник. Київ : Знання, 2011. 359 с.
- 21.Водозабірні споруди з поверхневих та підземних джерел: навч. посіб. / Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – Київ: КНУБА, 2023. – 288 с.
- 22.Yildizsu. Скважинні насоси 4" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://yildizsu.com.ua/submersible-pump-4/> – Дата звернення: 09.04.2026.
- 23.Долота шарошкові. Технічні умови (ГОСТ 20692-2003, IDT): ДСТУ ГОСТ 20692 : 2004 – [чинний з 2004-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 9 с. – (Національний стандарт України)
- 24.Буріння свердловин: навч. посіб. [Електронний ресурс] / 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». – Електрон. текст. дані. – Дніпро: НТУ «ДП», 2021. – 294 с. – Режим доступу : <http://nmu.org.ua> (дата звернення: 03.05.2026). – Назва з екрану.
- 25.ПВХ обсадні труби Ø200 мм [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://skvagina.com.ua/ua/plastikovye-obsadnye-truby/pvx-200.html> (дата звернення: 13.04.2026). – Назва з екрана.
- 26.Дудля М.А. Техніка та технологія буріння гідрогеологічних свердловин: Підручник / М.А. Дудля, І.О.Садовенко .За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. -Д., Національний гірничий університет, 2007. - 399с.
- 27.Судаков А. К., Чудик І. І., Фем'як Я. М. Судакова Д. А., Федик О. М. Буріння свердловин на воду: Монографія. – Дрогобич: «Посвіт», 2020. – 332 с.
- 28.Постанова Кабінету Міністрів України від 18 грудня 1998 р. № 2024 «Про правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів» // Офіційний вісник України. – 1998. – № 51.
- 29.Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва : наст. – Київ : Мінрегіон України, 2021. – 183 с.

- 30.BN01:5010-8744-9592-7634. Кошторисні норми України (КНУ) Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Чинний від 2021-12-31. Вид. офіц. Київ : Мінрегіону, 2021. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3043786250923279794?doc_type=1 (дата звернення: 10.05.2026).
- 31.Програмний комплекс АВК-5: офіційні матеріали та нормативно-довідкова база. – Режим доступу: <https://www.avk5.com.ua>