ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
БУДІВНИЦТВА, ЗЕМЛЕУСТРОЮ та ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ і ОЧИЩЕННЯ ВОД

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра
на тему

«ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА З ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ»

Виконала: здобувачка освіти 4-го курсу,
групи ЦІ 2022-2
спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія
освітня програма «Цивільна інженерія»
Отрешко Є.-М.І.
Керівник **проф. Карагяур А.С.**
Рецензент **доц. Сироватський О.А.**

Харків - 2026 року

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О.М. Бекетова

Інститут Навчально-науковий інститут будівництва, землеустрою та цивільної інженерії

Кафедра Водопостачання, водовідведення і очищення вод

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Освітня програма «Будівництво та цивільна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ВВіОВ

_____ проф. Карагяур А.С.

«01» _червня_____2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

1. *Отрешко Єва-Марія Ігорівна*

(прізвище, ім'я, по батькові)

2. Тема роботи *Проєктування системи водопостачання міста з підземних джерел*

керівник роботи *Карагяур Андрій Степанович, д.т.н., доц.*

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «26» 05 2026 р. №447-03

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.06.2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: *запроєктувати кільцеву водопровідну мережу для міста з промисловими підприємствами, яке знаходиться в Харківській області, побудувати п'єзометричні лінії, виконати проєкт споруд майданчику І-го підйому, запроєктувати основні споруди станції водопідготовки, описати заходи з організації експлуатації водозабірних споруд з підземних джерел та заходи з охорони праці. Вихідні дані наведені в додатку до завдання.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Вступ. Розділ 1. Загальні відомості. Розділ 2 Технологічна частина. Розділ 3 Організація експлуатації артезіанських свердловин. Розділ 4 Охорона праці.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
1. Генеральний та ситуаційний план міста. 2. П'єзометричні лінії. 3. Деталювання кільця міської водопровідної мережі. 4-5. Майданчик артезіанських свердловин. 6. Променевий підруслови водозабір.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Загальні відомості	проф. Карагяур А.С.		
Технологічна частина	проф. Карагяур А.С.		
Організація експлуатації артезіанських свердловин	проф. Карагяур А.С.		
Охорона праці	доц. Барбашин В.В.		
Показник оригінальності роботи	доц. Сорокіна К.Б.		
Допуск до захисту	проф. Карагяур А.С.		

7. Дата видачі завдання 01.06.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна відомості	01.06 – 03.06	
2	Технологічна частина	04.06 – 13.06	
3	Організація експлуатації артезіанських свердловин	14.06 – 16.06	
4	Охорона праці	17.06 – 18.06	
5	Оформлення пояснювальної записки	01.06 – 20.06	
6	Підготовка графічного матеріалу. Виконання креслень	01.06 – 20.06	
7	Попередній захист та рецензування роботи	21.06 − 22.06	

Здобувачка освіти Єва-Марія ОТРЕШКО

Керівник роботи Андрій КАРАГЯУР

ДОДАТОК ДО ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
здобувачці освіти 4-го курсу,
групи ЦІ 2022-2 Отрешко Є.-М.І.

1. Генеральний план населеного пункту М 1:5000.
2. Населення міста – 50 тис мешканців.
3. Житлова 5-типоверхова забудова з внутрішнім водопроводом, каналізацією і централізованим гарячим водопостачанням
4. Відомості про промислові підприємства:

Відомості про промпідприємства:	№1	№2
Загальна кількість працюючих, чол.	550	490
1-а зміна, %	60	50
2-а зміна, %	40	50
В гарячих цехах:		
1-а зміна, %	40	40
2-а зміна, %	40	40
Користуються душем, %		
В холодних цехах:		
1-а зміна, %	40	30
2-а зміна, %	40	30
В гарячих цехах:		
1-а зміна, %	80	80
2-а зміна, %	80	80
Технологічна витрата, л/с	11	10,3

5. У місці розташування артезіанських свердловин має місто наступний геологічний розріз:
   1. суглинок сірувато-жовтий – 27 м;
   2. пісок глинистий тонкозернистий − 31 м;
   3. піщаник зеленувато-сірий з прошарками глини – 33 м;
   4. глина темно-сіра – 18 м;
   5. крейда біла тріщинувата – 22 м;
   6. глина зелена щільна – 24 м;
   7. пісок жовтий, крупнозернистий – 35 м
   8. мергель блакитно-сірий, щільний – 30 м.

   Водоносний пласт – пласт № 7 (пісок жовтий, крупнозернистий), коефіцієнт фільтрації – 45 м/доб. Відмітка землі у місці розташування свердловин – 160 м. Відмітка статичного рівня води у свердловині – 115 м.
6. Характеристика якості води у артезіанському пласті: відповідає:вимогам, що висуваються до питної води.
7. Необхідна витрата на полив сільськогосподарських угідь – 64 л/с.
8. Місце розташування променевого водозабору характеризується наступними параметрами: допустиме зниження рівня води у водозбірному колодязі −4,0 м; потужність водоносного пласта −5 м; заглиблення горизонтальних свердловин під руслом річки – 4,0 м; коефіцієнт фільтрації − 40 м/доб.

Здобувачка освіти Єва-Марія ОТРЕШКО

Керівник роботи Андрій Карагяур

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ 8
1.1 Природні умови в районі влаштування водозабору з підземних джерел 8
1.2 Визначення норм споживання води 10
1.3 Визначення розрахункових витрат 12
1.3.1 Господарсько-побутові потреби мешканців населеного пункту 12
1.3.2 Поливання вулиць та зелених насаджень 12
1.3.3 Потреби у воді на пожежогасіння 13
1.3.4 Промислові підприємства: розрахунок витрат 13
1.4 Режим водоспоживання. Визначення витрати для розрахунку водопровідної мережі 15
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 19
2.1 Розрахунок мережі водопроводу 19
2.1.1 Трасування водопровідної мережі 19
2.1.2 Підготовка до гідравлічного розрахунку 19
2.1.3 Визначення діаметрів трубопроводів 25
2.1.4 Ув'язування кільцевої водопровідної мережі 25
2.1.5 Споруди, що влаштовуються на водопровідній мережі 28
2.1.6 Визначення місткості та параметрів водонапірного бака 28
2.2 Розрахунок та проектування артезіанської свердловини 31
2.2.1 Визначення радіуса впливу артезіанської свердловини 31
2.2.2 Режим роботи та визначення розрахункової подачі 32
2.2.3 Визначення величини зниження рівня води в артезіанській свердловині під час відкачування 34
2.2.4 Урахування взаємодії свердловин 34
2.2.5 Підбір та розрахунок фільтра артезіанської свердловини 38
2.2.6 Підбір свердловинного насосного обладнання 40
2.3 Розрахунок та проєктування підруслового променевого водозабору 43
3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АРТЕЗІАНСЬКИХ СВЕРДЛОВИН 47

3.1 Будова та принцип дії артезіанських свердловин 47
3.2 Основні причини та механізми деградації свердловин 48
3.3 Система технічного обслуговування артезіанських свердловин 50
3.4 Сучасні методи регенерації артезіанських свердловин 52
3.5 Комплексний підхід та оцінка ефективності регенерації 55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРОВИХ РОБІТ ПРИ ВЛАШТУВАННІ АРТЕЗІАНСЬКОЇ СВЕРДЛОВИНИ 57
4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування робітників під час проведення бурових робіт 57
4.2 Вплив виробничих шкідливостей на здоров'я робітників 60
4.3 Проєктування системи штучного освітлення майданчика для проведення бурових робіт з прикладом розрахунку 64
4.4 Основні причини травматизму при проведенні бурових робіт роторним способом 68
4.5 Пожежна безпека на буровому майданчику 71
4.6. Висновки до 4-го розділу 73
ВИСНОВКИ 75
СПИСОК ДЖЕРЕЛ 76

ВСТУП

Кваліфікаційна робота бакалавра містить 77 аркушів, 5 рисунків, 9 таблиць, 6 аркушів графічної частини, 23 інформаційних джерела.

ВОДОПРОВІДНА МЕРЕЖА, ВИТРАТА, ВОДОНАПІРНА БАШТА, ДІАМЕТР ТРУБОПРОВОДУ, АРТЕЗІАНСЬКА СВЕРДЛОВИНА, ПРОМЕНЕВИЙ ВОДОЗАБІР, ДЕБІТ

Розробка та проєктування надійних сучасних систем водопостачання та окремих її елементів, які забезпечує базові потреби населення та впливають на рівень комфорту проживання є актуальною задачею.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є розрахунок основних елементів системи забору води з підземних джерел, її подачі до населеного пункту та розподілу серед споживачів.

У роботі проаналізовано природні умови в районі розташування водозабору з підземних джерел, визначено норми споживання та розрахункові витрати.

Виконано розрахунок міської кільцевої водопровідної мережі з водонапірної баштою на її початку, проаналізовано роботу мережі в годину, коли споживання води максимальне та перевірено її пропускну здатність при необхідності пожежогасіння.

Виконано розрахунок таких водозаборів з підземних джерел, як артезіанська свердловина, вода з якого використовується для потреб міста та променевий підрусловий водозабір, вода з якого подається на сільськогосподарські потреби (на поливання). Обґрунтовано конструкцію артезіанської свердловини, підібрано насосне обладнання.

Розглянуто необхідні заходи з організації безперебійної роботи артезіанських свердловин .

Проаналізовано умови праці персоналу бурової бригади при проведенні бурових робіт для влаштування артезіанської свердловини роторним способом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Природні умови в районі влаштування водозабору з підземних джерел

Район розташування водозабору з підземних джерел, який проєктується, входить до складу Харківської області та характеризується помірно-континентальним кліматом із чітко вираженою сезонністю. Клімат формується під впливом континентальних повітряних мас, що надходять з північного сходу та сходу, а також атлантичних циклонів, які обумовлюють значну мінливість погодних умов упродовж року [1].

Середньорічна температура повітря у районі досліджень становить +7,5…+8,0 ^{0}C. Найхолодніший місяць — січень із середньомісячною температурою –6,0…–7,5 ^{0}C; абсолютний мінімум може сягати –35 ^{0}C. Найтепліший місяць − липень: середня температура +20,5…+21,5 ^{0}C, абсолютний максимум — до +40 ^{0}C. Тривалість безморозного періоду становить 165–175 днів. Глибина промерзання ґрунту в середньому дорівнює 0,8–1,0 м, у холодні зими може збільшуватись до 1,2–1,4 м.

Середньорічна кількість атмосферних опадів у регіоні коливається в межах 490–560 мм. Максимум опадів припадає на теплий період (травень–серпень) і становить близько 60–65 % річної суми. Зимові опади переважно випадають у вигляді снігу; сніговий покрив встановлюється, як правило, у другій декаді грудня та зберігається до середини лютого − початку березня. Висота снігового покриву в середньому становить 15–25 см, у багатосніжні зими − до 40 см. Пануючі вітри − південно-східні та східні, середньорічна швидкість вітру − 3,5–4,5 м/с. Відносна вологість повітря змінюється від 65 % улітку до 80-85 % узимку.

Основним джерелом живлення підземних вод є інфільтрація атмосферних опадів і транзитний підтік від підвищених елементів рельєфу. Значний вплив на режим підземних вод справляє весняне сніготанення, яке забезпечує до 30–35 % річного поповнення ресурсів водоносних горизонтів. Випаровування з поверхні становить 430–460 мм на рік, що свідчить про значну дефіцитність водного балансу в окремі роки.

У геоморфологічному відношенні район дослідження розташований у межах лівобережної терасованої рівнини долини річки Сіверський Донець. Рельєф характеризується слабкохвилястою поверхнею з абсолютними позначками 80 – 160 м. Долина річки розчленована терасами: заплавною та першою, другою і третьою надзаплавними терасами. Для ділянки водозабору характерна розвинена перша надзаплавна тераса шириною 2–5 км.

У геологічній будові виділяються відклади четвертинного, неогенового та палеогенового віку, що підстилаються крейдяними утвореннями. Четвертинні алювіальні відклади заплавних і терасових рівнин представлені різнозернистими пісками, супісками й суглинками потужністю 10–25 м. Неогенові утворення (харківська серія) складені кварцовими пісками та пісковиками потужністю до 20–30 м. Палеогенові відклади (київська та обухівська світи) представлені глауконітово-кварцовими пісками, мергелями та глинами [2].

Гідрогеологічні умови ділянки визначаються її приуроченістю до Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну, де виділяються водоносні горизонти четвертинних алювіальних відкладів, неогенових пісків і палеогенових відкладів. Для цілей водопостачання найбільший практичний інтерес становлять алювіальний та неогеновий водоносні горизонти.

Водоносний горизонт четвертинних алювіальних відкладів поширений у межах заплави та першої надзаплавної тераси. Водовмісні породи − середньо- та дрібнозернисті кварцові піски, подекуди з гравієм і галькою. Потужність горизонту становить 5–18 м. Рівень підземних вод залягає на глибинах 1,5–5,0 м від поверхні землі і характеризується значними сезонними коливаннями (1,5–2,5 м). Живлення здійснюється переважно за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і гідравлічного зв'язку з річкою Сіверський Донець. Питомі дебіти свердловин у цьому горизонті становлять 1,0–5,0 л/с.

Неогеновий водоносний горизонт представлений водовмісними породами є різнозернисті кварцові піски та слабозцементовані піщаниками. Потужність горизонту − 15–30 м, глибина залягання покрівлі − 20–45 м від поверхні. Горизонт є напірним; величина напору становить 5–20 м. Коефіцієнт фільтрації пісків − 5–

25 м/добу. Питомі дебіти свердловин досягають 3–8 л/с. Живлення горизонту відбувається в зонах виклинювання порід на поверхню та шляхом перетікання з суміжних горизонтів [3].

Палеогеновий водоносний горизонт характеризується значними напорами (20–50 м) та глибшим заляганням (60–100 м від поверхні). Незважаючи на обмеженіший водовідбір, цей горизонт може розглядатись як резервний джерело водопостачання при несприятливих умовах експлуатації верхніх горизонтів.

За хімічним складом підземні води четвертинного алювіального горизонту відносяться переважно до гідрокарбонатно-кальцієвого типу з мінералізацією 0,4–0,8 г/дм³. Загальна жорсткість становить 4–8 мг-екв/дм³. Вміст нітратів у ряді пунктів спостереження перевищує нормативні показники внаслідок антропогенного забруднення від сільськогосподарської діяльності. Води неогенового горизонту відрізняються меншим ступенем мінливості якісних показників: мінералізація 0,5–0,9 г/дм³, склад − гідрокарбонатно-сульфатно-кальцієвий, жорсткість − 5–10 мг-екв/дм³. За більшістю показників води відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 [4].

Загалом, гідрогеологічні умови ділянки є сприятливими для влаштування підземного водозабору. Перспективними для розміщення водозабірних споруд є ділянки першої надзаплавної тераси, де неогеновий водоносний горизонт характеризується значними потужностями та задовільними фільтраційними властивостями водовмісних порід. Але з точки зору якості води та захищеності водоносного горизонту краще використовувати пласти, розташовані нижче в палеогеновому водоносному горизонті. При проектуванні водозабору необхідно передбачити заходи щодо захисту від підтягування забруднених вод з верхнього − четвертинного горизонту та встановлення зони санітарної охорони відповідно до чинних нормативних документів.

1.2 Визначення норм споживання води

Водоспоживання міста складається з таких категорій:

– задоволення господарсько-питних потреб населення;

- полив та миття вулиць, полив зелених насаджень;
- витрати на пожежогасіння,
- різні потреби промислових підприємств.

Дані щодо чисельності населення міста та району його розміщення наведені в завданні. Орієнтуючись на ступінь технічно-санітарного благоустрою житлових будинків, кількість жителів (50000 люд.), а також географічне розташування міста (Харківська обл.), відповідно до [5] норму водоспоживання приймаємо рівною $q_м$ = 270 л/(добу на людину).

Базуючись на архітектурно-будівельних характеристиках, кліматичному районі розташування та розмірах міста, згідно з [5] норму споживання води для поливу територій встановлюємо $q_п$ = 45 л/(добу на людину). Оскільки у місті, де розробляється система водопостачання, заплановано організацію великих рекреаційних зон (скверів, парків, дитячих майданчиків, бульварів) із зеленими насадженнями, їхнє поливання зумовлює додаткові витрати. Зважаючи на цей факт, приймаємо значення $q_п$ = 50 л/(добу на людину).

Обсяги води для ліквідації пожеж визначаються поверховістю забудови та чисельністю населення. Ці витрати, разом із числом одночасних пожеж, вибираються відповідно до вимог [5].

На об'єктах промисловості витрати водних ресурсів зумовлені:

- задоволенням питних та господарських потреб персоналу;
- використанням душу після завершення робочої зміни;
- технологічними процесами, тобто потребами безпосередньо на виготовлення продукції.

Перша група водоспоживання на підприємствах залежить від рівня тепловиділення у виробничих приміщеннях. За цією ознакою цехи класифікують на «холодні» та «гарячі».

За коефіцієнта нерівномірності К = 1,2 норма споживання води в «гарячих» цехах встановлюється у розмірі 45 л на працюючого за зміну, тоді як у «холодних» — 25 л на людину за зміну.

Об'єм води, що подається однією душовою сіткою протягом години, дорівнює 500 літрам, при цьому тривалість користування душем становить 45 хвилин. Сама процедура відбувається впродовж години після закриття зміни. Потреби води на технологічні операції вказані у вихідному завданні.

1.3 Визначення розрахункових витрат

1.3.1 Господарсько-побутові потреби мешканців населеного пункту

Середньодобова (протягом року) витрата води дорівнює $Q_{доб.сер}$, $м^3$/доб:

$$Q_{доб.сер} = \frac{q_м \cdot N_м}{1000},$$

де $N_м$ – число мешканців у місті, меш., з завдання беремо $N_м$ = 217500 люд.;

$q_м$ – норма водоспоживання на задоволення питних потреб та потреб господарства, (л/доб) на одну людину, $q_м$ = 240 л/(доб·люд).

$$Q_{доб.сер} = \frac{217500 \cdot 240}{1000} = 52200\ м^3/доб$$

В добу максимального водоспоживання витрата на задоволення господарсько-питних потреб буде складати:

$$Q_{доб.сер} = К_{доб.мах} \cdot Q_{доб.сер}.$$

де $К_{доб.max}$ – максимальне значення коефіцієнту нерівномірності, він залежить від організації життя мешканців, рівня комфорту їх житла, сезонних змін у споживанні населенням води. Згідно [5] приймаємо $К_{доб.max}$ = 1,3.

$$Q_{доб.сер} = 1.2 \cdot 52200 = 62640\ м^3/доб$$

1.3.2 Поливання вулиць та зелених насаджень

Визначаємо витрату води на поливання територій за такою залежністю:

$$Q_{пол.} = \frac{q_п \cdot N_м}{1000},$$

де $N_м$ – розрахункове значення кількості мешканців у місті;

$q_п$ – сумарна норма (питома витрата) на поливання, $q_п$ = 68 л/(доб·люд).

$$Q_{пол.} = \frac{68 \cdot 217500}{1000} = 14790\ м^3/доб$$

Полив територій та зелених насаджень передбачаємо частково поливальними машинами $Q_{п.\ маш.}$ (ця частина складає 70% від загального об'єму), а частково працівниками житлово-експлуатаційних служб, $Q_{п.\ вруч.}$ (ця частина складає 30% від загального від загального об'єму).

$$Q_{п.маш.} = 0.7 \cdot 14790 = 10353\ м^3/доб,$$

$$Q_{п.маш.} = 0.3 \cdot 14790 = 4437\ м^3/доб.$$

1.3.3 Потреби у воді на пожежогасіння

Згідно [5] для міста з населенням 217000 меш. кількість пожеж, що відбувається одночасно, складає 3, норма витрати на гасіння однієї − 55 л/с, тривалість гасіння – 3 години.

При розрахунках розглядається найбільш несприятливий випадок, це коли пожежі відбуваються під час максимального навантаження на водопровідну мережу. Гасіння пожежі має пріоритет перед деякими потребами (полив, миття обладнання, душ), тому при необхідності їх можна скоротити.

1.3.4 Промислові підприємства: розрахунок витрат

Витрати води на господарсько-питні потреби в межах кожної зміни дорівнюють:

$$Q_{р.зм.} = \frac{N_г \cdot q_г + N_х \cdot q_х}{1000},$$

де $N_г$ − кількість працівників, що перебувають у «гарячих» цехах, люд.;

$N_х$− кількість працівників, що перебувають в інших «холодних» цехах, люд.

Витрати води працівниками на прийом душу дорівнює:

$$Q_{душ.зм.} = \frac{N_{душ} \cdot 500}{N_С \cdot 1000},$$

де $N_{душ}$ − кількість працівників у зміні, яким необхідно користуватися душем після зміни, окремо враховуються працівники в «гарячих» та «холодних» цехах, люд.;

$N_с$ – норма (кількість людей) на одну душову сітку, люд.

Скільки потрібно максимально душових сіток визначаємо, орієнтуючись на зміну з найбільшою кількістю працівників. Значення N_c залежить від типу виробничих процесів, приймаємо N_c = 7 осіб.

Результати розрахунку витрат на указані потреби міста та промпідприємств зведемо в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 − Визначення розрахункових витрат міста та промпідприємств

Вид витрати	Значення		
Середньодобова витрата, м^3/доб	52200		
Макс. добова витрата, м^3/доб	62640		
Витрата на полив, м^3/доб	14790		
Поливальними машинами, м^3/доб	10353		
Вручну, м^3/доб	4437		
Промпідприємства:	№1	№2	№3
Кількість працюючих:			
1-ша зміна:	675	750	450
в гарячих цехах	202,5	187,5	135
в холодних цехах	472,5	562,5	315
Витрата за зміну:	20,925	22,5	13,95
в гарячих цехах	9,1125	8,4375	6,075
в холодних цехах	11,8125	14,0625	7,875
Які користуються душем:			
в гарячих цехах	182,25	178,125	135
в холодних цехах	189	225	94,5
Витрата на душ, м^3/зміну	26,5	28,8	16,4
2-га зміна:	825	750	450
в гарячих цехах	247,5	187,5	135
в холодних цехах	577,5	562,5	315
Витрата за зміну	25,575	22,5	14,0
в гарячих цехах	11,1375	8,4	6,1
в холодних цехах	14,4375	14,1	7,9
Які користуються душем:			
в гарячих цехах	222,75	178,125	135

Вид витрати	Значення		
в холодних цехах	231	168,75	94,5
Витрата на душ, $м^3$/зміну	32,4	24,8	16,4

1.4 Режим водоспоживання. Визначення витрати для розрахунку водопровідної мережі

Розподіл за годинами доби витрат води, що пов'язані з господарсько-питними потребами населення міста, залежить від коефіцієнта годинної нерівномірності $К_{год.max}$. Цей коефіцієнт оцінимо за формулою:

$$К_{год.max.} = \alpha_{max} \cdot \beta_{max.},$$

де α_{max} – коефіцієнт для врахування рівня благоустрою житлових будівель, а також режиму роботи підприємств, що знаходяться на території міста, та інших умов, приймаємо $\alpha_{max} = 1,2$.

β_{max} – коефіцієнт, який враховує кількість мешканців в місті, $\beta_{max} = 1,1$.

$К_{год.max.} = 1,2 \cdot 1,1 = 1,25.$

Витрати води на технологічні потреби $q_{тех}$ на усіх промислових підприємствах рівномірні протягом кожної зміни.

Розрахунки водоспоживання міста з урахуванням усіх потреб протягом доби зведені в табл. 1.2. За цими розрахунками нами побудовано графік водоспоживання (рис. 1.1).

Таблиця 1.2 − Балансовий розрахунок споживання містом води

Години	% Q	м^3/год.	полив руч.	полив мех.	Промислове підприємство 1						Промислове підприємство 2					
					холодні цеха		гарячі цеха		душ	Техно-логічні	холодні цеха		гарячі цеха		душ	Техно-логічні
					% Q зм	м^3/год	% Q зм	м^3/год			% Q зм	м^3/год	% Q зм	м^3/год		
00:01	3,00	486,00			18,75	0,62	15,65	0,62	8,80		18,75	0,69	15,65	0,69	8,75	
01:02	3,20	518,40			6,25	0,00	12,05	0,00			6,25	0,00	12,05	0,00		
02:03	2,50	405,00			12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
03:04	2,60	421,20			12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
04:05	3,50	567,00			18,75	0,00	12,05	0,00			18,75	0,00	12,05	0,00		
05:06	4,10	664,20			6,25	0,00	12,05	0,00			6,25	0,00	12,05	0,00		
06:07	4,50	729,00	125,00	116,67	12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
07:08	4,90	793,80	125,00	116,67	12,50	0,00	12,05	0,00			12,50	0,00	12,05	0,00		
08:09	**4,90**	**793,80**	**125,00**	**116,67**	**18,75**	**0,00**	**15,65**	**0,00**	**0,00**	**39,6**	**18,75**	**0,00**	**15,65**	**0,00**	**0,00**	**37,08**
09:10	5,60	907,20		116,67	6,25	0,31	12,05	0,72		39,6	6,25	0,23	12,05	0,53		37,08
10:11	4,90	793,80		116,67	12,50	0,62	12,05	0,72		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
11:12	4,70	761,40		116,67	12,50	0,62	12,05	0,72		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
12:13	4,40	712,80		116,67	18,75	0,93	12,05	0,72		39,6	18,75	0,69	12,05	0,53		37,08
13:14	4,10	664,20		116,67	6,25	0,31	12,05	0,72		39,6	6,25	0,23	12,05	0,53		37,08
14:15	4,10	664,20		116,67	12,50	0,62	12,05	0,72		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
15:16	4,40	712,80		116,67	12,50	0,62	12,05	0,72		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
16:17	4,30	696,60		116,67	18,75	0,93	15,65	0,93	13,20	39,6	18,75	0,69	15,65	0,69	8,75	37,08
17:18	4,10	664,20		116,67	6,25	0,21	12,05	0,48		39,6	6,25	0,23	12,05	0,53		37,08
18:19	4,50	729,00	125,00	116,67	12,50	0,41	12,05	0,48		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
19:20	4,50	729,00	125,00	116,67	12,50	0,41	12,05	0,48		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
20:21	4,50	729,00	125,00	116,67	18,75	0,62	12,05	0,48		39,6	18,75	0,69	12,05	0,53		37,08
21:22	4,80	777,60			6,25	0,21	12,05	0,48		39,6	6,25	0,23	12,05	0,53		37,08
22:23	4,60	745,20			12,50	0,41	12,05	0,48		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08
23:24	3,30	534,60			12,50	0,41	12,05	0,48		39,6	12,50	0,46	12,05	0,53		37,08

Продовження табл.1.2

Години	Сумарне водоспоживання	
	$м^3$/год	%Q доб.
00:01	506,17	2,53
01:02	518,40	2,59
02:03	405,00	2,02
03:04	421,20	2,11
04:05	567,00	2,83
05:06	664,20	3,32
06:07	970,67	4,85
07:08	1035,47	5,18
08:09	**1112,15**	**5,56**
09:10	1102,33	5,51
10:11	989,47	4,95
11:12	957,07	4,79
12:13	909,01	4,54
13:14	859,33	4,30
14:15	859,87	4,30
15:16	908,47	4,54
16:17	915,13	4,58
17:18	858,99	4,29
18:19	1049,23	5,25
19:20	1049,23	5,25
20:21	1049,66	5,25
21:22	855,72	4,28
22:23	823,76	4,12
23:24	613,16	3,07
Σ	**20000.70**	**100,00**

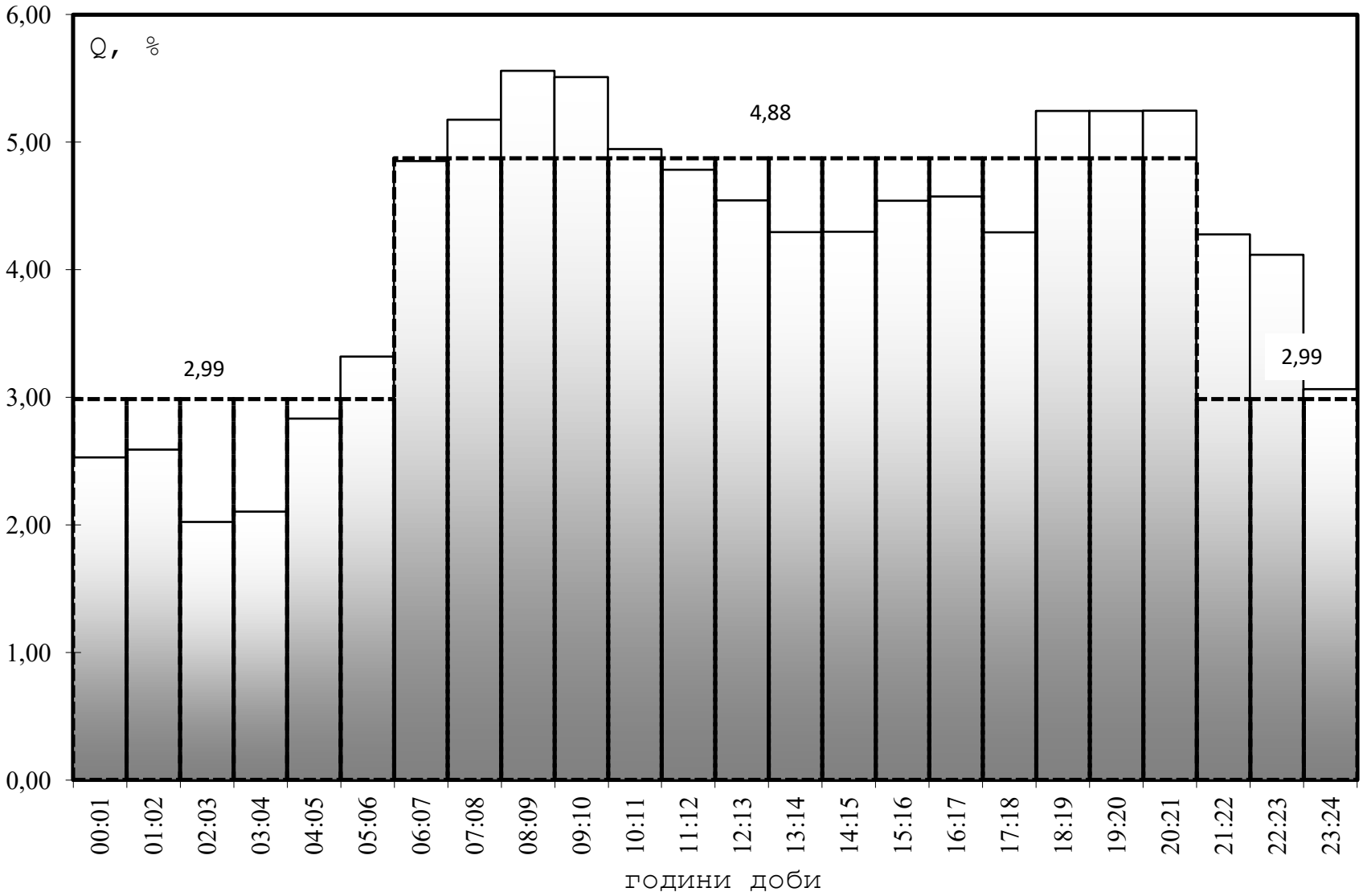

Рисунок 1.1 – Графік водоспоживання міста та роботи насосної станції 2-го підйому

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок мережі водопроводу

2.1.1 Трасування водопровідної мережі

Для населеного пункту, генеральний план якого зображено на аркуші №1 графічного матеріалу проєкту, передбачається проєктування кільцевої водопровідної мережі, оскільки вона забезпечує вищий рівень надійності порівняно з тупиковою. Процес трасування ліній водопроводу виконується на основі таких положень:

- транспортування води до ключових споживачів (зокрема, до точок приєднання виробничих об'єктів) має здійснюватися за мінімально можливими траєкторіями;
- протяжність магістральних відрізків системи не повинна бути більшою за 1000–1200 метрів, тоді як гранична довжина сполучних ділянок-перемичок становить 800 метрів.

Конфігурацію кільцевої водопровідної мережі наведено на аркуші №1 графічної документації. Для транспортування води в міську систему передбачається прокладання двох ліній водоводів від насосної станції другого підйому (НС-2), які під'єднуються до різних вузлових точок мережі.

2.1.2 Підготовка до гідравлічного розрахунку

Визначення втрат напору на кожній ділянці, підбір діаметрів трубопроводів та обчислення фактичних витрат води становлять основу гідравлічного розрахунку водопровідної системи [6-9]. Схема мережі, представлена у формі окремих кілець із відповідною нумерацією самих кілець, їхніх вузлів та відрізків для режиму транспортування максимальної годинної витрати, зображена на рис. 2.1; там же позначено точки приєднання ліній водоводів від насосної станції другого підйому та підключення виробничих підприємств. Схожа схема, але вже для умов подачі протипожежного об'єму води в період максимального водоспоживання, наведена на рис. 2.2.

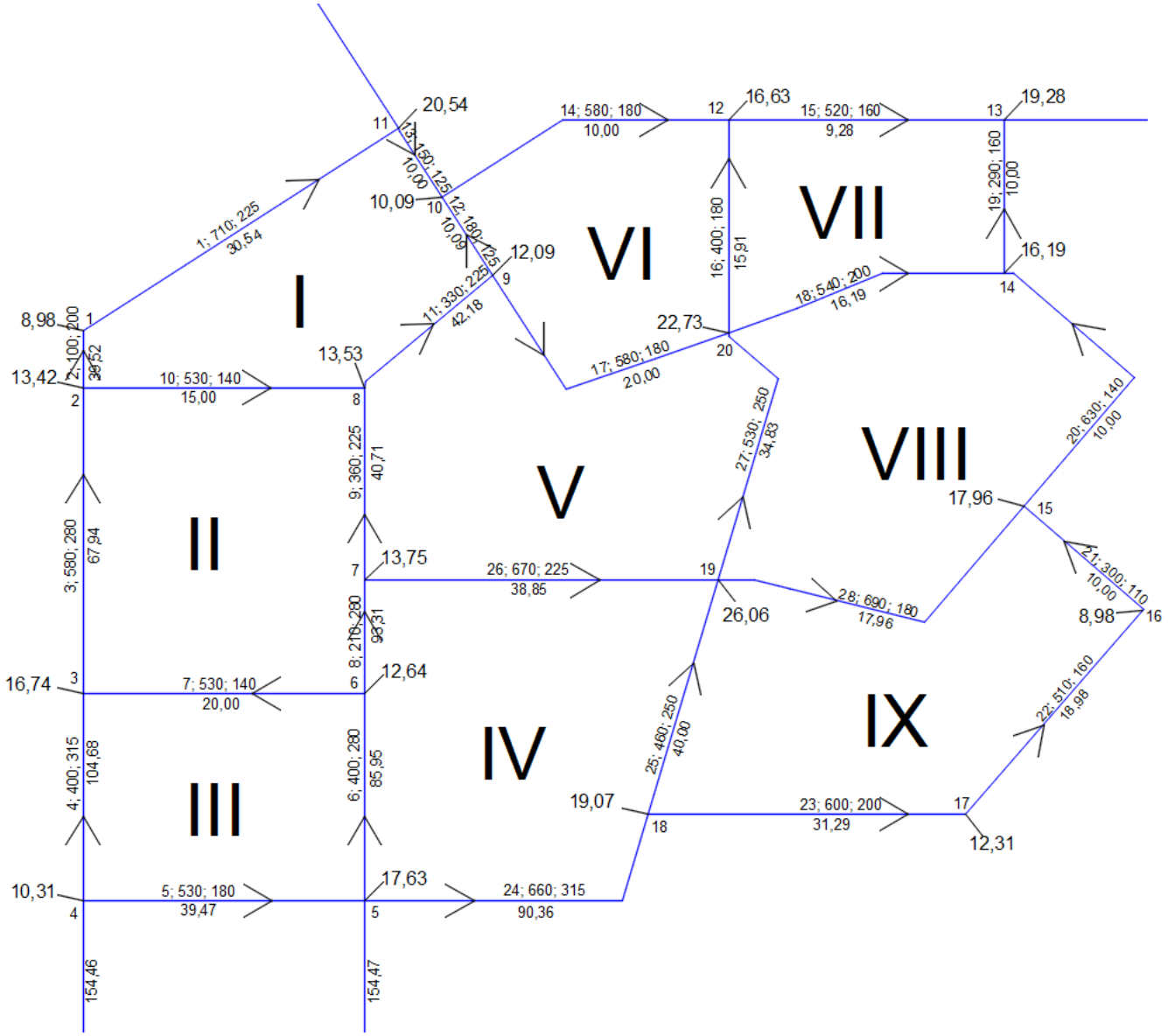

Рисунок 2.1 – Схема попереднього розподілу води на ділянках у годину максимального водоспоживання

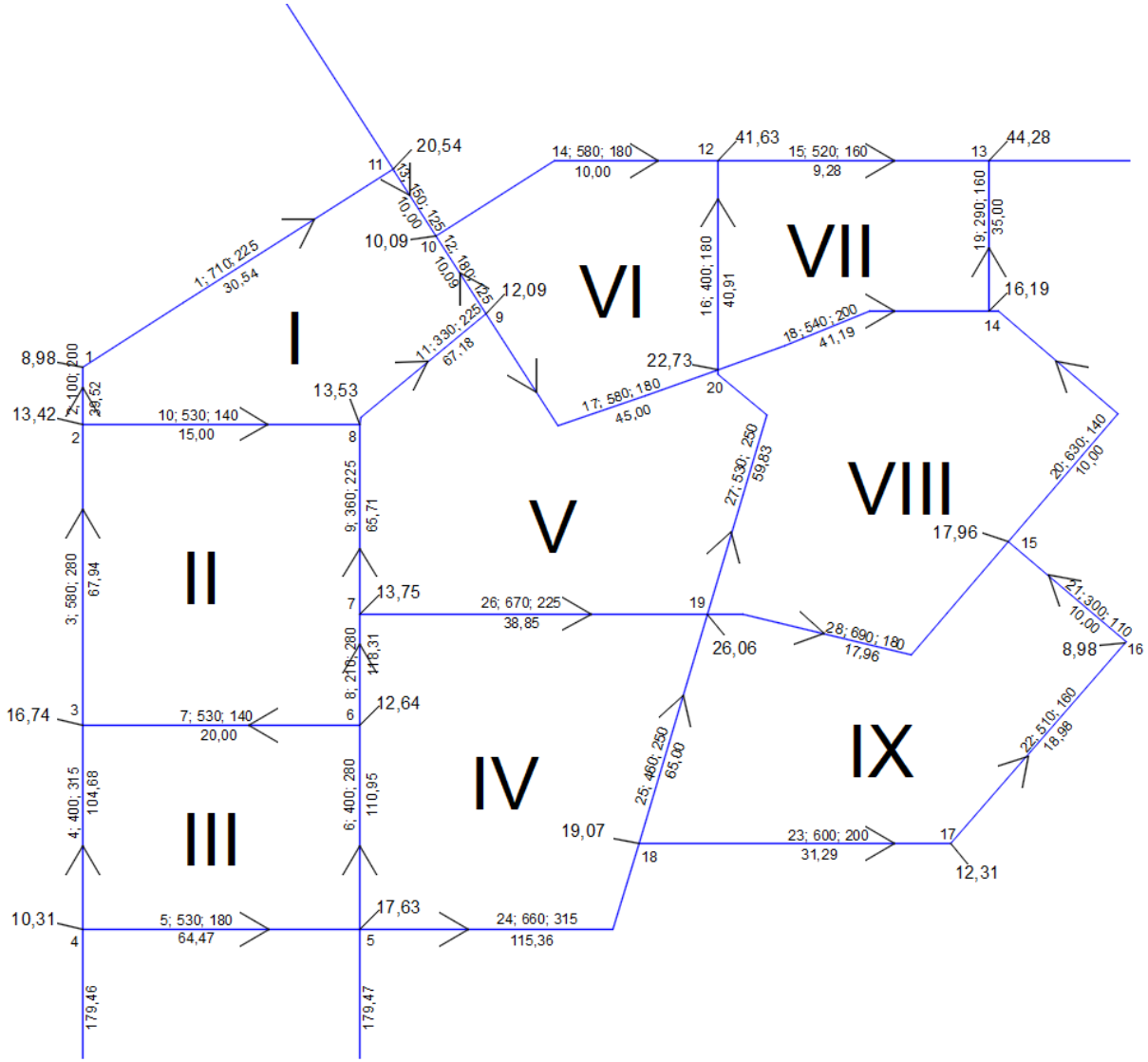

Рисунок 2.2 – Схема попереднього розподілу води на ділянках при пожежогасінні у годину максимального водоспоживання

Значення максимальної годинної витрати, яка припадає на проміжок часу між 8:00 та 10:00, приймається на основі табл. 1.2. Обсяг цієї годинної витрати становить 5,56 % від загального максимального добового споживання.

Підбір діаметрів для окремих ділянок водопровідної системи здійснюється з розрахунку на транспортування максимальної годинної витрати. Водночас для режиму ліквідації пожеж виконується перевірочний розрахунок пропускної спроможності мережі в умовах підвищеного навантаження.

Процедура гідравлічного розрахунку кільцевої водопровідної системи виконується у такій послідовності.

На початковому етапі обчислюється питома витрата води, що припадає на одиницю довжини відрізка. При цьому закладається умова, що відбір води є рівномірним по всій довжині ділянки, оскільки споживачі (житлова забудова) розташовані з обох її сторін:

$$q_{пит} = \frac{Q_{р.год} - \Sigma Q_{зосер.}}{\Sigma L},$$

де $Q_{р.год.}$ – найбільша годинна витрата води в добу пікового водоспоживання, л/с; $Q_{р.год.}$ = 308,93 л/с;

$Q_{зосер.}$ – сукупна витрата, яка подається на промислові об'єкти в період максимального споживання води, л/с ; $\Sigma Q_{зосер.}$ =21,3 л/с;

ΣL – загальна довжина всіх відрізків мережі, де здійснюється відбір води споживачами, м; ΣL = 12970 м.

$$q_{пит} = \frac{308,93 - 21,3}{12970} = 0,0221.$$

На другому етапі для кожного окремого відрізка обчислюються так звані «шляхові» витрати води:

$$Q_{ш} = q_{пит} \cdot L_{діл},$$

де $L_{діл}$ – протяжність конкретної ділянки водопровідної системи, м;

Результати обчислення шляхових витрат наведено в табл. 2.1.

На третьому етапі припускаємо, що відбір ресурсів із водопровідної системи здійснюється безпосередньо у вузлових точках, а не на самих ділянках. Розрахунок вузлових витрат виконується на основі шляхових витрат усіх

суміжних із цим вузлом відрізків, а також зосереджених витрат (за умови їхньої наявності).

$$Q_{вуз} = Q_{зосер.} + 0{,}5 \cdot Q_{ш},$$

де $Q_{вуз}$ − шляхові витрати відрізків мережі, які сполучаються з цим вузлом, л/с;

$Q_{зосер.}$ – величина зосередженої витрати у вузловій точці, л/с.

Розрахунок вузлових витрат наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.1 − Розрахунок шляхових витрат

Номер ділянки	Розрахункові довжини ділянок, м	Питома витрата води, л/(с·м)	Шляхова витрата ділянки, л/с
1	710	0,0221	15,75
2	100		2,22
3	580		12,86
4	400		8,87
5	530		11,75
6	400		8,87
7	530		11,75
8	210		4,66
9	360		7,98
10	530		11,75
11	330		7,32
12	180		3,99
13	150		3,33
14	580		12,86
15	520		11,53
16	400		8,87
17	580		12,86
18	540		11,98
19	290		6,43
20	630		13,97
21	300		6,65
22	510		11,31
23	600		13,31
24	660		14,64
25	460		10,20
26	670		14,86
27	530		11,75
28	690		15,30
	12970		**287,63**

Таблиця 2.2 − Розрахунок вузлових витрат

Номер вузла	Номери ділянок, які утворюють вузол				Зосереджена витрата води у вузлі, л/с	Вузлова витрата, л/с
1	1	2	0	0	0	8,98
2	2	3	10	0	0	13,42
3	3	4	7	0	0	16,74
4	4	5	0	0	0	10,31
5	5	6	24	0	0	17,63
6	6	7	8	0	0	12,64
7	8	9	26	0	0	13,75
8	9	10	11	0	0	13,53
9	11	12	17	0	0	12,09
10	12	13	14	0	0	10,09
11	1	13	0	0	11	20,54
12	14	15	16	0	0	16,63
13	15	19	0	0	10,3	19,28
14	18	19	20	0	0	16,19
15	20	21	28	0	0	17,96
16	21	22	0	0	0	8,98
17	22	23	0	0	0	12,31
18	23	24	25	0	0	19,07
19	25	26	27	28	0	26,06
20	16	17	18	27	0	22,73
					Сума	**308,93**

Під час перевірочного розрахунку пропускної спроможності системи в режимі ліквідації пожеж за основу береться найменш сприятливий сценарій, який передбачає: виникнення трьох розрахункових пожеж у вузлових точках, що мають максимальне віддалення від місць приєднання підвідних водоводів. Формуючи розрахункову схему для умов пожежогасіння, протипожежні витрати додають до відповідних вузлових значень, а також враховують їх на тих ділянках мережі, які забезпечують транспортування цього додаткового об'єму води від водоводів до віддалених вузлів.

Величини вузлових витрат для обох розрахункових випадків наводяться на відповідних схемах (рис. 2.1 та 2.2).

Обов'язковим є дотримання такої умови:

$$Q_{вузл.} = Q_{р.год.}$$

На четвертому етапі здійснюється попередній розподіл витрат води за ділянками системи. Цей процес базується на такому принципі: для будь-якої вузлової точки сума прохідних витрат, які надходять до неї, має дорівнювати сукупності вузлової витрати у цьому ж вузлі та прохідних витрат, що спрямовуються від нього далі.

2.1.3 Визначення діаметрів трубопроводів

Для будівництва ліній водоводів від насосної станції другого підйому, а також для відрізків самої водопровідної мережі, передбачено застосування напірних труб із поліетилену.

Обчислення діаметрів напірних трубопроводів виконується на основі:

- витрати води, визначеної для кожної ділянки в результаті її попереднього розподілу для режиму пікового водоспоживання;
- встановленої швидкості транспортування водного потоку в цих трубах.

Підібрані значення діаметрів для кожного відрізка відображаються на розрахункових схемах (рис. 2.1 і 2.2).

2.1.4 Ув'язування кільцевої водопровідної мережі

Метою ув'язування водопровідної системи є такий перерозподіл потоків води на її ділянках, за якого, окрім забезпечення нульового балансу витрат у кожній вузловій точці, для кожного замкненого контуру (кільця) сума втрат напору на ділянках із рухом води за годинниковою стрілкою дорівнюватиме сумі втрат напору на відрізках, де потік рухається у протилежному напрямку. Допустима похибка (точність) процесу узгодження становить 0,05 м.

Гідравлічний розрахунок із використанням спеціалізованого програмного комплексу для ув'язування кільцевої системи виконувався для двох режимів:

- для періоду максимального годинного водорозбору (результати в табл. 2.3);
- для умов максимального годинного споживання з урахуванням суміщеного навантаження від пропуску протипожежних витрат (результати в табл. 2.4).

Таблиця 2.3 — Параметри гідравлічного розрахунку водопровідної системи для періоду максимального годинного водоспоживання

№ ділянки	Витрата на ділянці	Втрати напору на ділянці	Швидкість руху води по ділянці
1	**2**	**3**	**4**
1	27,14	3,35	0,8797
2	36,12	1,51	1,4813
3	55,90	3,42	1,1685
4	116,95	5,17	1,9322
5	27,20	4,66	1,1157
6	59,17	1,42	0,9776
7	4,30	0,91	0,3599
8	90,83	1,68	1,5008
9	46,78	2,74	1,2261
10	6,36	1,91	0,5318
11	39,61	1,83	1,0382
12	11,98	2,16	1,0020
13	6,60	1,05	0,6920
14	8,49	0,97	0,4300
15	8,46	1,60	0,5417
16	16,59	1,38	0,6805
17	15,53	1,76	0,6371
18	25,16	2,21	0,8153
19	10,82	0,77	0,5478
20	1,86	0,22	0,1552
21	2,62	0,72	0,3554
22	11,60	2,86	0,7426
23	23,91	4,13	0,9804
24	104,88	3,70	1,3648
25	61,90	3,29	1,2939
26	30,30	3,90	0,9822
27	48,94	2,43	1,0231
28	17,20	4,41	0,8707

№ кільця	Нев'язка Σh (м)
1	0,005075
2	0,002157
3	0,000274
4	0,001459
5	0,000933
6	0,000187
7	0,000222
8	0,000322
9	0,000000

Таблиця 2.4 – Параметри гідравлічного розрахунку водопровідної системи під час пожежогасіння

№ ділянки	Витрата на ділянці	Втрати напору на ділянці	Швидкість руху води по ділянці
1	**2**	**3**	**4**
1	33,90	5,11	1,0987
2	42,88	2,09	1,7585
3	65,20	4,58	1,3629
4	127,94	6,13	2,1138
5	41,21	5,53	1,3358
6	76,43	2,30	1,2628
7	5,99	1,71	0,5012
8	109,79	2,41	1,8139
9	57,76	4,09	1,5140
10	8,90	3,62	0,7443
11	53,13	3,20	1,3927
12	17,42	4,40	1,4565
13	13,36	4,01	1,4006
14	20,69	5,27	1,0472
15	14,36	4,38	0,9196
16	35,30	5,77	1,4477
17	23,62	3,90	0,9688
18	38,02	4,84	1,2324
19	29,92	5,31	1,5145
20	8,09	3,59	0,6763
21	5,20	2,64	0,7067
22	14,18	4,19	0,9082
23	26,49	5,02	1,0864
24	126,62	5,30	1,6477
25	81,06	5,49	1,6945
26	38,28	6,08	1,2406
27	72,43	5,11	1,5141
28	20,85	6,36	1,0552

№ кільця	Нев'язка Σh (м)
1	-0,006100
2	-0,002857
3	-0,000289
4	-0,001424
5	-0,000923
6	-0,000239
7	-0,000165
8	-0,000234
9	0,000000

2.1.5 Споруди, що влаштовуються на водопровідній мережі

У межах даного проєкту на міській водопровідній мережі передбачено спорудження таких елементів:

- Водопровідні колодязі – призначені для розміщення різних видів арматури: запірно-регулювальної (обрано поворотні дискові затвори), запобіжної (вантузи, які монтуються виключно у вузлових точках та на відрізках у найвищих місцях системи), а також водорозбірної (пожежні гідранти);
- Упори — спеціальні бетонні конструкції, що встановлюються у місцях розгалужень та поворотів трубопроводів для сприйняття динамічних навантажень, які виникають через зміну вектору руху водного потоку;
- Компенсатори – забезпечують компенсацію поздовжніх деформацій труб, спричинених температурними коливаннями;
- Водонапірна башта на початку системи — слугує для гідравлічного узгодження режиму роботи насосної станції другого підйому (НС-2) із графіком споживання води.

Для керування потоками та забезпечення можливості ізоляції окремих ділянок було обрано саме поворотні дискові затвори, оскільки вони мають значно меншу масу та габарити порівняно зі звичайними засувками.

Рішення щодо будівництва водонапірної башти обґрунтоване можливістю зменшення розрахункової подачі НС-2. Споруду розміщено на самому початку мережі, безпосередньо у точці підключення ліній водоводів від згаданої насосної станції, оскільки цей район характеризується найвищими геодезичними відмітками землі.

2.1.6 Визначення місткості та параметрів водонапірного бака

Конструкція водонапірної башти складається з резервуара (бака) для акумулювання води та стовбура (за потреби) — опорної частини, яка утримує бак на розрахунковій висоті.

Місткість бака водонапірної башти розрахована на зберігання регулюючого об'єму води, а також запасу, необхідного для одночасного гасіння однієї внутрішньої та однієї зовнішньої пожежі.

Величина регулюючого об'єму визначається на основі розрахунків, наведених у табл. 2.5, шляхом суміщення ступеневого графіка водоспоживання та графіка роботи насосної станції (рис. 1.1):

$$W_{рег} = \frac{Q_{доб.мах.} \cdot \alpha}{100}$$

де $W_{рег}$ – регулюючий об’єм резервуара, м^3;

α – коефіцієнт регулювання (беремо з табл. 2.5);

$Q_{доб.мах.}$ – максимальна добова витрата води, м^3/добу.

$$\alpha = max+min$$

де max та min – відповідно, найбільше та найменше значення залишку води в баку (табл. 2.5), виражені у відсотках від максимального годинного споживання.

$$\alpha = |3,16| + |-0,46| = 3,62$$

$$W_{рег} = \frac{20000 \cdot 3,62}{100} = 724 \text{ м}^3$$

Для нашого випадку витрата води на ліквідацію зовнішньої пожежі становить 25 л/с, а на гасіння внутрішньої — 5 л/с. Об'єм протипожежного запасу обчислюється за формулою:

$$W_{пож.}=(q_{пож.}+q_{пож.вн.})\cdot 60\cdot 10/1000,$$

де $W_{пож.}$ – пожежогасний об’єм в баку, м^3;

$q_{пож.}$ – нормативна витрата на зовнішнє пожежогасіння, л/с;

$q_{пож.вн.}$ – нормативна витрата на внутрішнє пожежогасіння, л/с.

Запасний об’єм для потреб пожежогасіння становить:

$$W_{пож.} = \frac{(25+5) \cdot 60 \cdot 10}{1000} = 18 \text{м}^3$$

Повна місткість водонапірного бака дорівнює:

$$W_б = W_{рег.} + W_{пож.}$$

$$W_б = 724 + 18 = 742 \text{м}^3$$

Прийнявши діаметр резервуара водонапірної башти рівним d = 12 м, визначимо граничну висоту шару води в баку:

$$h_б = \frac{4 \cdot W_б}{\pi \cdot d^2},$$

$$h_б = \frac{4 \cdot 742}{3{,}14 \cdot 18^2} = 6{,}56 \text{ м}.$$

Висота опорного стовбура водонапірної башти обчислюється як сукупність таких компонентів:

$$H_б = H_В + h_{мер} + z_{кр.т} - z_{ВБ},$$

де $H_В$ – мінімальний вільний напір, м; для п'ятиповерхового житлового фонду;

$H_В$ = 26 м (із розрахунку 10 м на перші відмітки та по 4 м на кожен наступний поверх);

$h_{мер}$ − сукупні втрати напору в трубопроводах від критичної точки (вузла з найменшим вільним напором) до водонапірної башти; за результатами ув'язування мережі приймаємо $h_{мер}$=13,4 м;

$z_{кр.т}$ − геодезична відмітка поверхні землі у критичній точці, $z_{кр.т}$ =155,00 м;

$z_{ВБ}$ − геодезична відмітка землі на майданчику розташування водонапірної башти, $z_{ВБ}$ = 160,00 м.

Варто додати, що роль критичної точки може виконувати або вузол, який максимально віддалений від місця під'єднання водоводів (де відбувається зустріч потоків), або вузол, розташований на найвищій геодезичній відмітці.

$$H_б = 26 + 13{,}4 + 155 - 160 = 34{,}4 \text{ м}.$$

Таблиця 2.5. − Розрахунок регулюючого об'єму

Години	Споживання, % від $Q_{доб}$	Подача, % від $Q_{доб}$	Надходження чи витрата з бака, % від $Q_{доб}$	Залишок у баку, % від $Q_{доб}$
00:01	2,53	2,99	0,46	0,00
01:02	2,59	2,99	0,39	0,39
02:03	2,02	2,99	0,96	1,35
03:04	2,11	2,99	0,88	2,23
04:05	2,83	2,99	0,15	2,39
05:06	3,32	2,99	-0,34	2,05
06:07	4,85	4,88	0,02	2,07
07:08	5,18	4,88	-0,30	1,77
08:09	5,56	4,88	-0,69	1,09
09:10	5,51	4,88	-0,64	0,45
10:11	4,95	4,88	-0,07	0,38
11:12	4,79	4,88	0,09	0,47
12:13	4,54	4,88	0,33	0,80
13:14	4,30	4,88	0,58	1,38
14:15	4,30	4,88	0,58	1,95
15:16	4,54	4,88	0,33	2,28
16:17	4,58	4,88	0,30	2,58
17:18	4,29	4,88	0,58	3,16
18:19	5,25	4,88	-0,37	2,79
19:20	5,25	4,88	-0,37	2,42
20:21	5,25	4,88	-0,37	2,05
21:22	4,28	2,99	-1,29	0,76
22:23	4,12	2,99	-1,13	-0,38
23:24	3,07	2,99	-0,08	-0,46
Всього:	Σ=100 %			

2.2 Розрахунок та проектування артезіанської свердловини

2.2.1 Визначення радіуса впливу артезіанської свердловини

Радіус впливу артезіанської свердловини визначимо за формулою І.П. Кусакіна [10]

$$R = 47\sqrt{\frac{6HkT}{\mu}},$$

де k – коефіцієнт фільтрації порід водоносного горизонту, м/с; k = 45 м/доб = 0,000521 м/с;

T – тривалість пробного відкачування, що приймається в межах 48-72 год (50 год);

μ – коефіцієнт водовіддачі, значення якого для піщаних ґрунтів становить 0,2-0,3 (0,3);

H − потужність (товщина) шару води у свердловині, м.

Потужність водяного шару у свердловині визначається за формулою:

$$H = \sum_{i=1}^{7} m_i - (z_{зем} - z_{ст}),$$

де $\sum_{i=1}^{7} m_i$ – сумарна товщина (потужність) усіх геодезичних пластів від поверхні землі до підошви водоносного горизонту включно, м; $\sum_{i=1}^{7} m_i$ = 27 + 31 + 33 + 18 + 22 + 24 + 35 = 190 м

$z_{зем}$ – геодезична відмітка поверхні землі у місці спорудження артезіанської свердловини, м; $z_{зем}$ = 130 м;

$z_{ст}$ – відмітка стабільного статичного рівня підземних вод, м; $z_{ст}$ = 85 м;

$$H = 190 – (130 – 85) = 145 \text{ м}.$$

$$R = 47\sqrt{\frac{6 \cdot 145 \cdot 0{,}000521 \cdot 50}{0{,}3}} = 408 \text{ м}.$$

2.2.2 Режим роботи та визначення розрахункової подачі

Якість підземної води, що вилучається з водоносного пласта, повністю задовольняє вимоги стандарту «Вода питна» [4]. Завдяки цьому вона безпосередньо за допомогою артезіанських насосів транспортується до водонапірної башти, а далі розподіляється серед міських споживачів.

Спираючись на дані рис. 1.1, встановлюємо двоступеневий графік роботи свердловинних насосних агрегатів:

- I ступінь: з 0:00 до 6:00 та з 21:00 до 24:00 — 2,99% від $Q_{доб}$
- II ступінь: з 6:00 до 21:00 — 4,88% від $Q_{доб}$

Продуктивність на I ступені:

$$q_{н1} = \frac{20000 \cdot 2{,}99}{100} = 598\,м^3/год = 166\,л/с.$$

Продуктивність на ІІ ступені:

$$q_{н2} = \frac{20000 \cdot 4{,}88}{100} = 976 м^3/год = 271\,л/с.$$

Загальні витрати води під час ліквідації пожежі:

$$Q_{пож} = q_{max\ год.} + n \cdot q_{пож},$$

$$Q_{пож} = 5{,}56 \cdot \frac{20000}{360} + 2 \cdot 25 = 359\,л/с$$

Обсяг води, що подається насосним обладнанням під час пожежогасіння:

$$Q_{пож} = q_{н2} + n \cdot q_{пож}$$

$$Q_{пож} = 271 + 2 \cdot 25 = 321\ л/с$$

З огляду на це, закладаємо у проєкт функціонування трьох насосних агрегатів на першому ступені та п'яти — на другому. Відповідно, передбачається будівництво 5 робочих свердловин та додатково 1 резервної.

Визначимо розрахункову продуктивність для одного насоса.

Для І ступеня:

$$q_1 = \frac{598}{3} = 199\,м^3/год = 55{,}4\,л/с.$$

Для ІІ ступеня:

$$q_2 = \frac{976}{5} = 195\,м^3/год = 54{,}2\,л/с.$$

Для подальших інженерних розрахунків вибираємо більше значення – 199 $м^3$/год = 4776 $м^3$/доб.

Таким чином, розрахунковий дебіт для однієї артезіанської свердловини має становити 4776 $м^3$/доб = 199 $м^3$/год = 55,4 л/с.

2.2.3 Визначення величини зниження рівня води в артезіанській свердловині під час відкачування

Приймається припущення, що свердловина повністю розкриває водоносний горизонт і доходить до водотривкої підошви, тобто є гідродинамічно досконалою. За умов усталеного руху підземних вод величина дебіту досконалої артезіанської свердловини обчислюється за такою залежністю [10-13]:

$$Q = 2{,}73\frac{kmS}{\lg\frac{R}{r_0}},$$

де k – коефіцієнт фільтрації порід водоносного пласта, м/доб;

m – потужність (товщина) водоносного горизонту, м;

S – величина зниження рівня води під час відкачування, м;

r_0 – радіус свердловини, м.

З цієї залежності виражається величина зниження динамічного рівня води у свердловині:

$$S = \frac{Q}{2{,}73km}\lg\frac{R}{r_0}.$$

Зважаючи на технічні характеристики наявного бурового устаткування, у першому наближенні встановлюємо розрахунковий діаметр свердловини рівним 300 мм, (радіус – 150 мм).

$$S = \frac{4776}{2{,}73 \cdot 45 \cdot 24} \cdot \lg\frac{408}{0.15} = 5{,}56 \text{ м}.$$

2.2.4 Урахування взаємодії свердловин

Величину додаткового падіння динамічного рівня води, що виникає у свердловині під впливом іншої працюючої свердловини, визначають за формулою [10, 14-16]

$$\Delta S = S\left(\frac{1}{\beta} - 1\right),$$

де S – зниження рівня води свердловині, яка чинить вплив на досліджувану, м;

β − коефіцієнт впливу.

Для споруд з ідентичними технічними та конструктивними параметрами коефіцієнт впливу розраховується за формулою:

$$\beta = \frac{\lg \frac{R}{r_0}}{\lg \frac{R}{r_0} + \Sigma \lg \frac{R}{a_i}},$$

де a_i – лінійна відстань між свердловинами, м.

У випадках, коли виконується умова $\frac{R}{a_i} < 1$, гідродинамічна взаємодія між спорудами відсутня, і відповідний компонент $\lg \frac{R}{a_i}$ у загальній сумі знижень не враховується.

Для подальших обчислень розглянемо таку схему взаємного розміщення водозабірних споруд (рис. 2.3). Свердловини запроєктовано з рівномірним розташуванням по сторонам рівностороннього трикутника, сторона якого дорівнює 2а. Згідно завданню параметр а дорівнює 100 м.

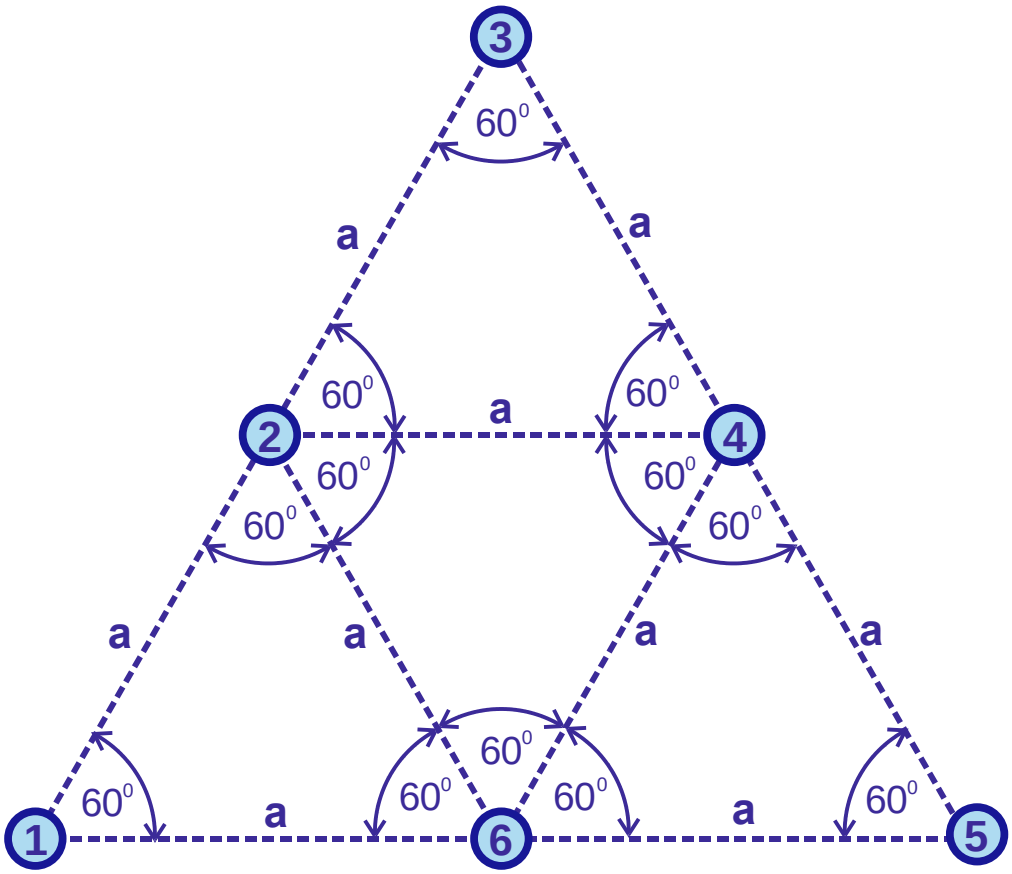

Рисунок 2.3 − Схема взаємного розміщення артезіанських свердловин

Із 6 свердловин 5 одиниць є робочими, а 1 — резервною. Найбільш критичний взаємний вплив (максимальне скупчення) виникає за умови, коли функціонуючі свердловини розміщені безпосередньо одна біля одної. Приймемо, що в експлуатаційному режимі перебувають споруди під номерами 1–5.

З урахуванням прийнятої схеми розташування свердловин констатуємо, що з точки зори взаємовпливу свердловини можна виділити дві групи, свердловини які до в них входять, працюють в однакових умовах. Перша група – це свердловини 1, 3, 5; друга група – свердловини 2, 4, 6. Таким чином, можемо виділити два різних випадки взаємовпливу свердловин, коли одна з свердловин групи буде резервною. Нехай для першої групи це буде свердловина 5, а для другої групи – свердловина 6.

Аналізуючи графічну схему на рис. 2.3, можна констатувати, що просторові інтервали між суміжними свердловинами є ідентичними:

$$a_{1\text{-}2} = a_{1\text{-}6} = a_{2\text{-}3} = a_{2\text{-}4} = a_{2\text{-}4} = a_{3\text{-}4} = a_{4\text{-}5} = a_{4\text{-}6} = a_{5\text{-}6};$$

$$a_{1\text{-}3} = a_{1\text{-}5} = a_{3\text{-}5};$$

$$a_{1\text{-}4} = a_{2\text{-}5}.$$

Визначимо ключові (відстані) між спорудами водозабору:

$$a_{1\text{-}2} = a_{1\text{-}6} = a_{2\text{-}3} = a_{2\text{-}4} = a_{2\text{-}4} = a_{3\text{-}4} = a_{4\text{-}5} = a_{4\text{-}6} = a_{5\text{-}6}; = a;$$

$$a_{1\text{-}3} = a_{1\text{-}5} = a_{3\text{-}5} = 2a;$$

$$a_{1-4} = a_{2-5} = a_{3-6} = a\sqrt{3}.$$

Характер просторового розміщення свердловин 2 і 4 є таким, що сумарний гідродинамічний вплив на них з боку решти функціонуючих свердловин буде абсолютно однаковим. Аналогічне твердження є справедливим і для споруд під номерами 3 та 5. З огляду на це, подальший розрахунок проведемо за наступними залежностями:

1 варіант (резервною є свердловина 6)

$$\beta_{1,5} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\text{вплив на 1–у свердловину свердловини 2}}{\lg\frac{R}{a_{1-2}}} + \underset{\text{вплив на 1–у свердловину свердловин 3 та 5}}{2\lg\frac{R}{a_{1-3}}} + \underset{\text{вплив на 1–у свердловину свердловини 4}}{\lg\frac{R}{a_{1-4}}}}.$$

$$\beta_{2,4} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\text{вплив на 2–у свердловину свердловин 1,3 та 4}}{3\lg\frac{R}{a_{1-2}}} + \underset{\text{вплив на 2–у свердловину свердловини 5}}{\lg\frac{R}{a_{2-5}}}}.$$

$$\beta_{3} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\text{вплив на 3–у свердловину свердловин 1 та 5}}{2\lg\frac{R}{a_{1-3}}} + \underset{\text{вплив на 3–у свердловину свердловин 2 та 4}}{2\lg\frac{R}{a_{2-3}}}}.$$

Результати виконаних обчислень наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 − Розрахунки взаємодії водозабірних свердловин

Номер свердловини	Відстань між свердловинами, м					β	ΔS, м
	1	2	3	4	5		
1		100	200	173	200	0,635	3,20
2	100		100	100	173	0,609	3,57
3	200	100		100	200	0,692	2,48
4	173	100	100		100	0,609	3,57
5	200	173	200	100		0,635	3,20

2 варіант (резервною є свердловина 5)

$$\beta_{1,3} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\substack{\text{вплив на 1–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловин 2 та 6}}}{2\lg\frac{R}{a_{1-2}}} + \underset{\substack{\text{вплив на 1–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловини 3}}}{\lg\frac{R}{a_{1-3}}} + \underset{\substack{\text{вплив на 1–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловини 4}}}{\lg\frac{R}{a_{1-4}}}}.$$

$$\beta_{2} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\substack{\text{вплив на 2–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловин 1, 3, 4, 6}}}{4\lg\frac{R}{a_{1-2}}}}.$$

$$\beta_{4,6} = \frac{\lg\frac{R}{r_0}}{\lg\frac{R}{r_0} + \underset{\substack{\text{вплив на 4–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловин 2, 3, 6}}}{3\lg\frac{R}{a_{2-4}}} + \underset{\substack{\text{вплив на 4–у}\\\text{свердловину}\\\text{свердловини 1}}}{\lg\frac{R}{a_{1-4}}}}.$$

Результати виконаних обчислень наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 − Розрахунки взаємодії водозабірних свердловин (2 варіант)

Номер свердловини	Відстань між свердловинами, м					β	ΔS, м
	1	2	3	4	6		
1		100	200	173	100	0,643	3,09
2	100		100	100	100	0,584	3,96
3	200	100		100	173	0,643	3,09
4	173	100	100		100	0,609	3,57
6	100	100	173	100		0,609	3,57

2.2.5 Підбір та розрахунок фільтра артезіанської свердловини

Визначення конструктивного виконання фільтраційної колони артезіанської свердловини зумовлюється літологічним складом і типом водоносного горизонту. Для умов залягання крупнозернистих піщаних ґрунтів застосовується така схема: трубчасті полімерні фільтри з круглою перфорацією (отворами), оснащені

додатковим водоприймальним покриттям із корозійностійкого волокнистого пористого полімеру, а також зовнішнім гравійним контуром (обсипкою) завтовшки 200 мм. Спорудження свердловини у межах водоносного пласта передбачається виконувати ударно-канатним способом із послідовним опусканням обсадних труб та подальшим оголенням (монтажем) фільтраційної частини.

Необхідна робоча довжина фільтраційної частини обчислюється за формулою:

$$L_Н = \frac{Q}{3600\pi D_ф C V_ф},$$

де Q – розрахунковий дебіт свердловини, м^3/год; Q = 199 м^3/год;

$D_ф$ – зовнішній діаметр фільтра з урахуванням товщини шару гравійної обсипки; $D_ф$ = 300+2·200 = 700 мм = 0,7 м;

С – свердловинність фільтраційного каркаса, приймається на рівні С = 0,2-0,3 (0,3);

$V_ф$ – допустима швидкість надходження води з пласта крізь фільтраційну поверхню, м/с; відповідно до гранулометричного складу часток вміщуючих порід встановлюється в межах $V_ф$ = 0,004-0,005 м/с (0,004 м/с).

$$L_Н = \frac{199}{3600 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}004} = 21{,}0 \text{ м.}$$

Для перевірки коректності підбору зіставимо обчислену необхідну довжину фільтру $L_Н$ з його фактичною довжиною $L_р$. Обов'язковим є дотримання такої умови:

$$L_Н < L_р$$

Зважаючи на те, що запроєктована свердловина є досконалою, а технологічні відступи від країв фільтра до покрівлі та підошви (верхнього й нижнього водоупорів) приймаємо по 0,5 м, гранична умова набуває вигляду:

$$L_Н < m - 1$$

$$21{,}0 < 35 - 1 = 34$$

Величина гідравлічних втрат напору у фільтраційній зоні визначається за залежністю:

$$h_ф = \frac{Q\xi}{2\pi km},$$

де Q – добовий дебіт артезіанської свердловини, м^3/доб; Q = 4776 м^3/доб;

k – коефіцієнт фільтрації порід пласта, м/доб; k = 45 м/доб;

m – потужність водоносного горизонту, м; m = 35 м;

ξ − коефіцієнт фільтраційного опору, величина якого вибирається на основі коефіцієнта фільтрації порід за допомогою графіка, наведеного в [10]

При k = 45 м/доб ξ = 6,0.

$$h_ф = \frac{4776 \cdot 6{,}0}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 45 \cdot 35} = 2{,}90 \text{ м.}$$

2.2.6 Підбір свердловинного насосного обладнання

Подачу свердловинного насосного агрегату становить $Q_Н$ = 199 м^3/год.

Величина необхідного напору для підбору насоса обчислюється за такою залежністю:

$$H_Н = H_Г + h_н + h_ф + h_{ВТ} + h_{вод},$$

де $H_Г = z_{ВБ} – z_д$ – геометрична висота підйому води, м;

$z_{ВБ}$ – розрахунковий рівень води в резервуарі водонапірної башти, м; $z_{ВБ}$ = 194,35 + 6,72 = 201,1 м (сума п'єзометричної відмітки на майданчику розміщення водонапірної башти та висоти водяного стовпа в її резервуарі, згідно з аркушем «П'єзометричні лінії»);

$z_д = z_{ст} – S − ΔS$ – величина динамічного рівня води у свердловині, (визначається як статичний рівень $z_{ст}$ із вирахуванням власного зниження рівня S та максимального додаткового падіння рівня, спричиненого гідродинамічним взаємовпливом свердловин, ΔS), м;

$$ΔS = ΔS_2 \text{ (2 варіант)} = 3{,}96 \text{ м}$$

$$z_д = 115 – 5{,}56 – 3{,}96 = 105{,}5 \text{ м;}$$

$$H_Г = 201{,}1 – 105{,}5 = 95{,}6 \text{ м.}$$

$h_н$ – гідравлічні втрати напору всередині насосного агрегату, м; встановлюємо $h_н = 3$ м;

$h_ф$ – втрати напору у фільтраційній частині свердловини, м; $h_ф = 2{,}90$ м;

$h_{ВТ}$ – втрати напору у водопідйомній колоні труб, м;

$h_{вод}$ – втрати напору в лініях водоводів, м.

Сумарні втрати напору в трубопроводах визначаються шляхом підсумовування лінійних втрат по довжині h_l та втрат на місцеві опори $h_м$:

$$h = h_l + h_м.$$

Обчислення лінійних втрат напору по довжині виконується за формулою:

$$h_l = 1000i \cdot L,$$

де 1000i – питомий гідравлічний ухил;

L – протяжність трубопроводу, км.

Протяжність лінії водоводу становить $L_{вод} = 1100$ м = 1,1 км (згідно з даними Ситуаційного плану).

Розрахункова довжина водопідйомної труби обчислюється за формулою:

$$L_{ВТ} = z_{зем} – z_д + h_{заг},$$

де $z_{зем}$ – геодезична відмітка поверхні землі у точці буріння артезіанської свердловини, м; $z_{зем} = 160$ м (див. завдання);

$h_{заг}$ – величина заглиблення насосного обладнання під динамічний рівень $z_д$, м; приймаємо

$$h_{заг} = 2\text{-}10 \text{ м } (5 \text{ м});$$

$$L_{ВТ} = 160 – 105{,}5 + 5 = 60{,}5\text{м} = 0{,}0605 \text{ км}.$$

Величина втрат напору в місцевих опорах орієнтовно встановлюється на рівні 30% від обсягу лінійних втрат по довжині трубопроводу. Із огляду на це,

$$h = 1{,}3 \cdot 1000i \cdot L.$$

Як водопідйомну колону використовуємо сталеві трубопроводи з фланцевим типом з'єднання, які забезпечують транспортування об'єму води, що відповідає розрахунковому дебіту свердловини Q = 55,4 л/с.

$$d = 150 \text{ мм}; \quad V = 2{,}75 \text{ м/с}; \quad 1000i = 89{,}4.$$

$$h_{ВТ} = 1,3 \cdot 89,4 \cdot 0,0605 = 7,03 \text{ м}.$$

Передбачено проєктування двох ліній водоводів із поліетиленових труб, кожна з яких розрахована на транспортування половини від сукупного об'єму води, що вилучається на водозабірному вузлі. Оскільки сумарна потужність водозабору, сформованого п'ятьма свердловинами, становить 271 л/с, то величина 50%-го навантаження на одну лінію дорівнює 136 л/с. Підбір оптимальної швидкості руху водного потоку для цього випадку виконується на основі техніко-економічних критеріїв.

$$d = 450 \text{ мм}; \quad V = 1,09 \text{ м/с}; \quad 1000i = 2,53.$$

$$h_{вод} = 1,3 \cdot 2,53 \cdot 1,1 = 3,62 \text{ м}.$$

$$H_{Н} = 95,6 + 3 + 2,90 + 7,03 + 3,62 = 112 \text{ м}.$$

Спираючись на каталог насосного обладнання марки ЭЦВ, здійснюємо підбір свердловинного занурювального насоса відповідного типу. За наявності кількох альтернативних варіантів перевага віддається агрегату, що характеризується вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД), а також меншими показниками маси та споживаної потужності.

З огляду на зазначені критерії, для встановлення обрано насос марки ЭЦВ12-210-145, який має такі технічні характеристики:

- подача – 210 $м^3$/год;
- напір – 145 м;
- тип двигуна – ПЭДВ 125-270;
- потужність – 125 кВт;
- частота обертання робочих коліс – 2900 $хв^{-1}$;
- довжина – 3580 мм;
- діаметр робочих коліс – 281 мм;
- маса – 590 кг.

На завершальному етапі зіставляємо габаритні розміри насосного агрегату з внутрішніми параметрами обсадної колони. Мінімально припустимий діаметр обсадної труби для даного обладнання становить 12·25 = 300 мм, тоді як за

розрахунком ми маємо 2·150 = 300 мм. Таким чином, геометричні умови дотримані, і насос вільно проходитиме всередину обсадної колони.

2.3 Розрахунок та проєктування підруслового променевого водозабору

Відповідно до вихідного завдання, необхідно додатково забезпечити подачу води для поливу сільськогосподарських угідь, розташованих поблизу населеного пункту, в обсязі 64 л/с. Оскільки для цих потреб допускається використання ресурсів непитної якості, з метою належного водозабезпечення агропідприємства передбачено проєктування променевого водозабору берегового типу. Ця споруда здійснюватиме відбір води з першого від поверхні землі водоносного горизонту, гідравлічно пов'язаного та підживлюваного водами річки Сіверський Донець, що протікає поруч.

До складу цього водозабору входять (рис. 2.4) [12, 17]:

– водозбірний колодязь, що має діаметр 3 м, всередині якого монтується занурений насосний агрегат;

– горизонтальні свердловини-промені, що виконуються зі сталевих перфорованих труб; їхнє спорудження передбачається за методом «Preussag» шляхом продавлювання обсадних труб у ґрунт за допомогою домкратних установок, подальшого заведення всередину фільтрових перфорованих ліній, влаштування навколо них гравійної обсипки та фінішного вилучення обсадних труб; кількість променів приймаємо N = 2, довжину l = 20 м, кут між ними – 60^0, радіус − r_0 = 100 мм .

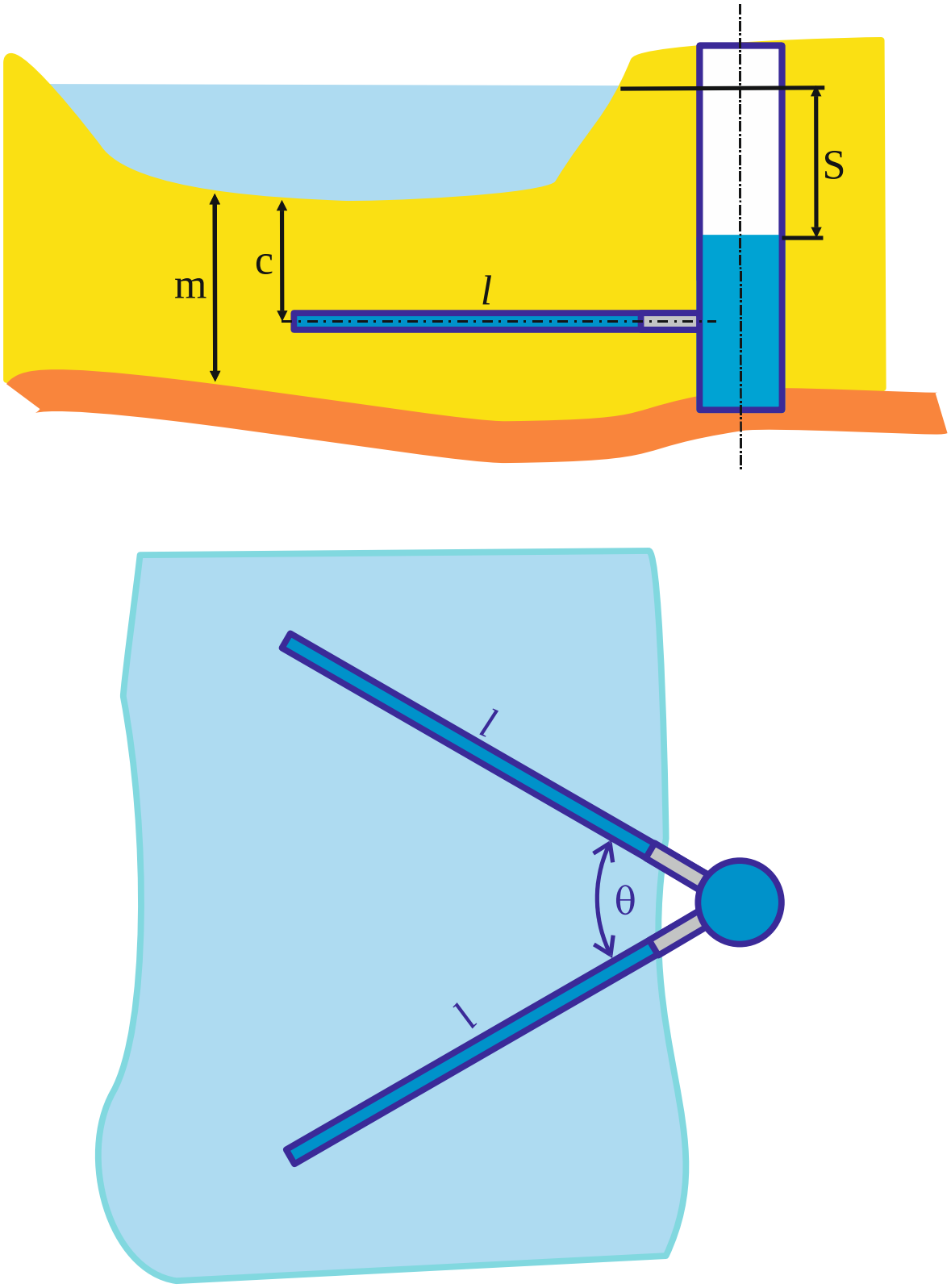

Рисунок 2.4 – Підрусловий променевий водозабір

Дебіт променевого водозабору берегового типу визначають за формулою:

$$Q = 2\pi kmS\left(\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_п}\right),$$

де k – коефіцієнт фільтрації порід водоносного горизонту, k = 40 м/доб;

m – загальна потужність водоносного пласта, m = 5 м;

S – гранично допустиме зниження рівня води у центральному водозбірному колодязі, S = 4,0 м;

$R_б$ – величина фільтраційного опору горизонтальних берегових променів (для умов проєктування променевого водозабору підруслового типу $R_п \to \infty$);

$R_п$ – величина фільтраційного опору підруслових горизонтальних свердловин-променів .

$$Q = 2\pi kmS\left(\frac{1}{R_б} + \frac{1}{R_п}\right)$$

$$R_п = (U_0 + U_п)\frac{m}{\ell N},$$

де l – розрахункова довжина горизонтального променя, l = 20 м;

N – загальна кількість горизонтальних свердловин-променів, N = 2;

$$U_0 = \ln\frac{3cm\ell(\ell + \sqrt{\ell^2 + 16(m-c)^2})}{r_0(m-c)(\ell + \sqrt{\ell^2 + 16m^2})(\ell + \sqrt{\ell^2 + 16c^2})},$$

де c – заглиблення свердловин-променів під руслом річки, м, c = 4,0 м.

$$U_0 = \frac{N+2}{3}\ln\left(1 + \left(\frac{4m}{(1-0{,}5m)\sin\theta}\right)^2\right),$$

де θ − кут між горизонтальними свердловинами, $\theta = 60^0$.

Проведемо розрахунки

$$U_0 = \ln\frac{3\cdot 4\cdot 5\cdot 20(20 + \sqrt{20^2 + 16(5-4)^2})}{0{,}1\cdot(5-4)(20 + \sqrt{20^2 + 16\cdot 5^2})(20 + \sqrt{20^2 + 16\cdot 4^2})} = 5{,}52.$$

$$U_0 = \frac{2+2}{3}\ln\left(1 + \left(\frac{4\cdot 5}{(1-0{,}5\cdot 5)\sin 60^0}\right)^2\right) = 1{,}35.$$

$$R_п = (5{,}52 + 1{,}35)\frac{5}{30\cdot 2} = 0{,}858.$$

$$Q = 2\cdot 3{,}14\cdot 40\cdot 5\cdot 4\frac{1}{0{,}858} = 5862 \text{ м}^3/\text{доб} = 244 \text{ м}^3/\text{год} = 68 \text{ л/с}.$$

Оскільки обчислений дебіт променевого водозабору із заданими технічними характеристиками незначною мірою перевищує нормативну потребу в 64 л/с, зазначені геометричні та конструктивні параметри споруди остаточно приймаються до проєктування.

3 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АРТЕЗІАНСЬКИХ СВЕРДЛОВИН

Артезіанські свердловини є одним із найважливіших джерел питного та промислового водопостачання в усьому світі. Вони забезпечують стабільний доступ до підземних водоносних горизонтів, захищених від поверхневого забруднення потужними водотривкими шарами. Завдяки природному тиску, що утворюється в замкнених водоносних горизонтах, вода може самовільно піднімати рівень або навіть виливатися на поверхню без механічного підкачування. Однак, попри очевидні переваги, артезіанські свердловини потребують систематичного технічного обслуговування, оскільки з часом їхня продуктивність невідворотно знижується внаслідок складної взаємодії фізичних, хімічних і біологічних процесів.

Проблема деградації водозабірних свердловин набула особливої актуальності в останні десятиліття у зв'язку з інтенсифікацією водовідбору та ускладненням гідрогеологічних умов у багатьох регіонах. Зниження продуктивності свердловини не лише зменшує обсяги доступної води, але й призводить до суттєвих економічних збитків: витрат на буріння нових водозаборів, збоїв у водопостачанні промислових підприємств, комунальних господарств та населення. За даними численних досліджень, своєчасне та кваліфіковане обслуговування здатне подовжити ефективний термін служби свердловини у два-три рази порівняно з об'єктами, які експлуатуються без належного нагляду [18].

3.1 Будова та принцип дії артезіанських свердловин

Артезіанська свердловина є складною інженерною спорудою, яка включає кілька ключових конструктивних елементів: устя свердловини з оголовком, колону обсадних труб, фільтрову ланку, насосне обладнання та систему контрольно-вимірювальних приладів. Глибина артезіанських свердловин може варіюватися від кількох десятків до кількох сотень метрів залежно від залягання водоносного горизонту. На відміну від ґрунтових колодязів, артезіанські

свердловини проникають крізь водотривкі шари і розкривають напірні горизонти, де вода перебуває під значним гідростатичним тиском.

Фільтр є найбільш відповідальним елементом свердловини, оскільки саме він забезпечує надходження води з водоносного горизонту до стовбура і водночас перешкоджає проникненню піску та дрібних часток породи. Конструкція фільтра визначається гранулометричним складом водовмісної породи, хімічним складом підземних вод та передбачуваним режимом експлуатації. Для піщаних водоносних горизонтів застосовують дротяні, гравійно-обсипні або щілинні фільтри, тоді як для тріщинуватих скельних порід фільтрація може бути взагалі відсутня. Правильний вибір конструкції фільтра на стадії проектування значною мірою визначає довготривалу продуктивність і надійність свердловини.

Обсадна колона виконує функцію кріплення стінок стовбура, ізоляції водоносного горизонту від шарів, що залягають вище, і захисту від поверхневого забруднення. Матеріал обсадних труб — сталь, чавун або пластик — впливає на довговічність конструкції та її схильність до корозії. Цементування затрубного простору є обов'язковим технологічним заходом, що забезпечує герметичність і санітарний захист водозабору. Порушення цілісності цементного каменю є однією з поширених причин погіршення якості води та втрати продуктивності свердловини.

3.2 Основні причини та механізми деградації свердловин

Деградація артезіанської свердловини є багатофакторним процесом, у якому фізичні, хімічні і біологічні явища тісно переплетені та взаємопосилюють одне одного. Розуміння цих механізмів є принциповою передумовою для розробки ефективних стратегій обслуговування та відновлення водовіддачі. Дослідники виокремлюють кілька груп причин зниження продуктивності, кожна з яких може домінувати залежно від конкретних геологічних і гідрохімічних умов.

Кольматаж − поступове закупорювання порового і тріщинного простору водоносної породи та фільтрувальних елементів − є найпоширенішою фізичною причиною зниження продуктивності свердловин. Механічний кольматаж

відбувається внаслідок перенесення і накопичення дрібних мінеральних частинок у привибійній зоні. Цьому сприяє надмірний водовідбір, що перевищує природну фільтраційну спроможність породи, а також нерівномірний режим роботи насосного обладнання з частими пусками та зупинками.

У гравійно-обсипних фільтрах кольматаж проявляється у вигляді ущільнення та розмиву гравійного пакету. З часом гравій просідає, а утворені порожнини заповнюються піском з водоносного горизонту. Цей процес відбувається особливо інтенсивно при роботі насоса в нерозрахунковому режимі. Зменшення ефективного діаметра пор у фільтровій зоні призводить до зростання гідравлічних опорів і, відповідно, до зниження дебіту при тому самому рівні депресії. Чисельні польові спостереження підтверджують, що механічний кольматаж може знизити дебіт свердловини на 30–50 % протягом перших 5–10 років експлуатації за відсутності профілактичного обслуговування [19].

Хімічна інкрустація є не менш серйозною загрозою для тривалої роботи артезіанських свердловин. Вона розвивається внаслідок зміни фізико-хімічних умов у привибійній зоні порівняно з незбуреним водоносним горизонтом. Зниження тиску і підвищення температури при надходженні води до стовбура порушує рівновагу розчинених мінеральних солей і спричиняє їх осадження на поверхнях фільтра, обсадних труб та насосного обладнання. Карбонатна інкрустація (відкладення кальциту і доломіту) є найпоширенішим видом хімічного ураження свердловин у регіонах з твердою водою.

Залізисті та марганцеві відкладення утворюються при окисленні розчинених форм заліза і марганцю киснем, що надходить з поверхні або є розчиненим у воді. Ці процеси відбуваються особливо інтенсивно у зонах змішування водоносних горизонтів з різним хімічним складом, що нерідко є наслідком неякісного цементування затрубного простору. Силікатні та сульфатні інкрустації характерні для регіонів з геохімічно специфічними підземними водами. Швидкість наростання відкладень залежить від хімічного складу води, інтенсивності водовідбору та конструктивних особливостей свердловини.

Мікробіологічні процеси відіграють важливу і часто недооцінену роль у деградації свердловин. Бактерії, переважно залізоокислювальні (Gallionella ferruginea, Leptothrix ochracea) та сульфатредукуючі форми, утворюють у привибійній зоні і на поверхні фільтра щільні біоплівки − так звані біофулінги. Ці мікробні спільноти не лише механічно закупорюють пори, але й суттєво змінюють геохімічне середовище: прискорюють осадження заліза і марганцю, збільшують концентрацію сірководню та органічних речовин, стимулюють корозійні процеси на металевих поверхнях [20].

Особливістю біологічного кольматажу є його прогресуючий та самопідтримуваний характер: чим більший обсяг органічних речовин і розчиненого заліза надходить до свердловини, тим активніше розвивається мікробна флора, і навпаки − бактеріальна активність сприяє мобілізації заліза і марганцю з породи. Крім того, продукти метаболізму бактерій (позаклітинні полімерні речовини, органічні кислоти) змінюють змочуваність і сорбційні властивості породи, ускладнюючи відновлення фільтраційних характеристик навіть після механічного або хімічного очищення.

Корозія металевих обсадних труб і фільтрів є особливою загрозою для довговічності артезіанських свердловин. Електрохімічна корозія розвивається у водах з підвищеною мінералізацією, низьким pH або значним вмістом агресивних іонів хлору і сульфату. Мікробіологічно індукована корозія (МІК), що спричиняється сульфатредукуючими бактеріями, є одним з найбільш небезпечних видів деградації, оскільки здатна руйнувати навіть товстостінні сталеві труби протягом декількох років. Продукти корозії − оксиди заліза та сірка − додатково забруднюють воду і погіршують фільтраційні характеристики.

3.3 Система технічного обслуговування артезіанських свердловин

Ефективне технічне обслуговування артезіанських свердловин ґрунтується на принципі профілактики, а не реактивного реагування на аварійні ситуації. Воно включає регулярний моніторинг технічного стану і продуктивності, своєчасне виявлення ознак деградації та проведення запобіжних заходів до того, як

погіршення досягне критичного рівня. Такий підхід значно економічніший за відновлення вже деградованих свердловин і дозволяє уникнути перебоїв у водопостачанні.

Моніторинг свердловини передбачає систематичне вимірювання дебіту і динамічного рівня води, що дозволяє розрахувати питомий дебіт − один з ключових показників стану свердловини. Зниження питомого дебіту понад 10–15 % від початкового значення є сигналом для проведення детальної діагностики. Крім гідрогеологічних параметрів, моніторинг включає контроль фізичних і хімічних показників якості води: каламутності, вмісту заліза, марганцю, жорсткості, pH та мікробіологічних показників. Відхилення цих параметрів від базових значень нерідко передує помітному зниженню дебіту і може свідчити про початок деградаційних процесів.

Відеоінспекція свердловини за допомогою підводних телевізійних камер є сучасним та інформативним методом оцінки технічного стану конструкції. Вона дозволяє виявити корозійні пошкодження обсадних труб, відкладення на фільтрі, деформації конструкції, а також оцінити стан гравійного пакету. Проведення відеоінспекції рекомендується не рідше одного разу на 3–5 років навіть за відсутності видимих ознак погіршення стану свердловини. Результати відеозйомки є основою для прийняття рішень про вибір методу відновлення та оцінки його ефективності.

Насосне обладнання потребує особливої уваги в рамках технічного обслуговування. Режим роботи насоса має відповідати характеристикам водоносного горизонту і не призводити до надмірної депресії, яка прискорює кольматаж і може спричинити підсос повітря. Ревізія насоса, перевірка та заміна зношених деталей (підшипників, робочих коліс, ущільнювачів) повинні проводитися відповідно до рекомендацій виробника та результатів контролю робочих параметрів. Ненормальна вібрація, підвищений шум, зниження подачі або погіршення якості води є ознаками несправності насосного агрегату і вимагають негайного реагування.

3.4 Сучасні методи регенерації артезіанських свердловин

Коли профілактичні заходи виявляються недостатніми або вже наявна суттєва деградація продуктивності, застосовують активні методи регенерації. Сучасна практика водогосподарства пропонує широкий арсенал технологій, що відрізняються механізмом дії, ефективністю, вартістю та екологічною безпечністю. Вибір оптимального методу або їх комбінації ґрунтується на діагностиці причин деградації, конструктивних особливостях свердловини та економічних міркуваннях.

Механічні методи регенерації спрямовані на фізичне видалення відкладень і ущільнень з поверхні фільтра та привибійної зони. Найпростішим і найдавнішим з них є свабування − почергове занурення і підіймання поршня (сваба) у стовбурі свердловини, що створює різкі перепади тиску і викликає руйнування кольматажу та вимивання частинок у свердловину. Цей метод ефективний для свіжого механічного кольматажу, але малопридатний при щільних хімічних або біологічних відкладеннях.

Більш сучасним механічним методом є гідродинамічне очищення з використанням високонапірних струменів води. Спеціальна форсунка, яку переміщують уздовж фільтра, подає потужний водяний струмінь під тиском 150–300 атмосфер, що механічно руйнує відкладення і вимиває їх з фільтрувальної зони. Цей метод ефективно видаляє карбонатні і залізисті кірки, ущільнений пісок та частково − біологічні обростання. Метод роторного чищення із застосуванням щіток і фрез ефективний для видалення щільних механічних і мінеральних відкладень з поверхні обсадних труб і фільтра.

Хімічна регенерація полягає у введенні в свердловину реагентів, що розчиняють або дезінтегрують мінеральні та біологічні відкладення. Кислотна обробка − застосування розчинів соляної, сульфамінової або органічних кислот (оцтової, мурашиної) − найефективніша для розчинення карбонатних, залізистих та марганцевих інкрустацій. Концентрація і час контакту підбираються залежно від характеру і товщини відкладень. Після кислотного оброблення обов'язкове

ретельне відкачування і промивка свердловини для видалення продуктів реакції і залишків реагенту.

Для боротьби з біологічним кольматажем широко застосовують хлорування та обробку іншими дезінфікантами − пероксидом водню, надкислотами, четвертинними амонієвими сполуками. Ці речовини руйнують мікробні біоплівки і знищують бактеріальні клітини. Важливо враховувати, що хімічна дезінфекція не вирішує проблему кардинально: частина мікроорганізмів у споровій формі або у важкодоступних порах породи виживає, і відновлення бактеріальних ценозів може відбутися досить швидко. Тому хімічну регенерацію поєднують з механічним видаленням біомаси і наступним моніторингом мікробіологічних показників.

Останніми роками дедалі ширше застосовуються екологічно безпечніші хімічні агенти − ферментні препарати і біодеградабельні комплексоутворювачі, що дозволяють уникнути внесення токсичних речовин у підземні води. Такі препарати здатні руйнувати позаклітинні полімерні матриці біоплівок і дестабілізувати мінеральні відкладення без агресивного хімічного впливу на породу і матеріал обсадних труб. Хоча їхня ефективність дещо поступається традиційним кислотам і дезінфікантам, екологічна перевага є значним аргументом на їхню користь у водозаборах питного призначення.

Ультразвукова обробка є перспективним сучасним методом регенерації свердловин. Ультразвукові коливання, що генеруються спеціальним випромінювачем, який занурюється у свердловину, викликають кавітацію − утворення і схлопування мікропухирців пари у рідині. Кавітаційний ефект створює локальні імпульси тиску достатньої сили для механічного руйнування навіть щільних мінеральних кірок і розриву бактеріальних біоплівок. Ультразвукова обробка ефективна там, де механічні та хімічні методи дають лише частковий результат, і її нерідко застосовують у поєднанні з хімічними реагентами для посилення синергетичного ефекту [21].

Пневматичний імпульсний метод полягає у формуванні в стовбурі свердловини потужних гідравлічних ударів за допомогою раптового вивільнення

стисненого газу. Утворена ударна хвиля проникає в пори і тріщини породи на відстань до кількох метрів від стовбура, руйнуючи кольматажні відкладення і відновлюючи природну фільтраційну здатність привибійної зони. Цей метод особливо ефективний при глибокому кольматажі, коли ураження поширюється далеко за межі безпосередньо прифільтрової зони. Пневматичний імпульсний метод знайшов широке застосування у країнах Центральної та Північної Європи, де артезіанські свердловини є основою систем питного водопостачання.

Гідравлічний розрив пласта (ГРП), запозичений з практики нафтогазовидобутку, набуває все ширшого застосування для регенерації та інтенсифікації водозаборів у породах з низькою природною проникністю − тріщинуватих карбонатах, консолідованих пісковиках. Суть методу полягає у закачуванні рідини під тиском, що перевищує міцність породи, що призводить до утворення нових тріщин або розкриття існуючих. Утворена система тріщин суттєво збільшує ефективну площу фільтраційного контакту між свердловиною і водоносним горизонтом. При гідравлічному розриві для питних водозаборів використовують виключно чисту воду або воду зі спеціальними харчовими добавками-пропантами, що унеможливлює хімічне забруднення підземних вод.

Біологічні методи регенерації, засновані на використанні мікроорганізмів-антагоністів або їхніх продуктів метаболізму, є відносно новим і перспективним напрямком. Принцип полягає у введенні до свердловини спеціально відібраних або генетично оптимізованих штамів бактерій, що здатні витісняти кольматуючу мікробну флору і вивільняти ферменти, які руйнують біоплівки. Деякі мікроорганізми продукують органічні кислоти, що розчиняють мінеральні відкладення, або синтезують поверхнево-активні речовини, що поліпшують змочуваність порового простору і полегшують відмивання забруднень.

Незважаючи на теоретичну привабливість, біологічні методи регенерації ще не набули широкого практичного застосування через ряд складнощів: необхідність ретельного підбору штамів для конкретних геохімічних умов, складнощі контролю результатів і потенційний ризик небажаних змін мікробного ценозу водоносного горизонту. Тим не менш, зростаючий інтерес дослідників і

перші успішні польові випробування дають підстави вважати, що біологічні методи займуть важливе місце в арсеналі регенерації свердловин у найближчому майбутньому.

3.5 Комплексний підхід та оцінка ефективності регенерації

Практика показує, що найбільший ефект відновлення продуктивності досягається при послідовному або одночасному застосуванні кількох методів регенерації − комплексному підході. Типова схема включає попередню механічну очистку для видалення пухких відкладень, потім хімічну обробку для розчинення щільних мінеральних кірок і біологічних матриць, і нарешті − ретельне відкачування для видалення продуктів реакції і відмобілізованих частинок. У складних випадках глибокого кольматажу додатково застосовують ультразвукову або пневматичну імпульсну обробку.

Оцінка ефективності регенерації проводиться шляхом порівняння питомого дебіту до і після обробки. Вважається, що регенерація є успішною, якщо питомий дебіт відновлено не менш ніж на 80 % від початкового проектного значення. Важливим показником є також стійкість досягнутого результату в часі: якщо продуктивність знову швидко знижується протягом кількох місяців після регенерації, це свідчить про необхідність коригування режиму експлуатації або застосування довготривалих профілактичних заходів.

Визначення доцільності проведення регенерації передбачає техніко-економічне обґрунтування: порівнюються витрати на відновлення свердловини з вартістю буріння нового водозабору. Якщо конструкція свердловини фізично зношена (корозія обсадних труб, деформація фільтра), а продуктивність відновити неможливо, єдиним рішенням є ліквідація свердловини і буріння нової. Правильна і своєчасна ліквідація відпрацьованих свердловин не менш важлива, ніж їх обслуговування, оскільки занедбані свердловини можуть стати каналами проникнення поверхневого забруднення в артезіанські горизонти.

Стрімкий розвиток цифрових технологій відкриває принципово нові можливості для управління станом артезіанських свердловин. Сучасні системи

телеметрії дозволяють у безперервному режимі вимірювати і передавати до диспетчерського центру весь комплекс параметрів свердловини: рівень і температуру води, дебіт, тиск на виході, споживану потужність насоса, вміст кисню та основних іонів. Аналіз трендів цих параметрів у реальному часі дозволяє виявляти початкові ознаки деградації задовго до того, як вони стануть критичними.

Методи машинного навчання і штучного інтелекту знаходять застосування для прогнозування залишкового ресурсу свердловини і оптимізації режиму її роботи. Алгоритми обробки великих даних (Big Data), навчені на масивах спостережних даних з великих мереж свердловин, здатні виявляти приховані закономірності деградації та передбачати необхідний вид і терміни профілактичного обслуговування. Це дозволяє переходити від планово-попереджувального до умовно-технічного обслуговування − тобто здійснювати втручання тоді і в такому обсязі, коли це дійсно необхідно за станом конкретного об'єкта, а не за формальним регламентом.

Цифрові двійники свердловин − детальні комп'ютерні моделі, що імітують гідрогеологічні, геохімічні і механічні процеси в реальному часі − є ще одним напрямком цифровізації водогосподарського менеджменту. Такі моделі дозволяють тестувати різні сценарії регенерації без реальних польових випробувань і оптимізувати параметри обробки (концентрацію реагентів, час контакту, тиск) перед початком робіт. Впровадження цифрових двійників потребує значних інвестицій у збір гідрогеологічних і геохімічних даних, проте потенційний економічний ефект від підвищення ефективності обслуговування перевищує ці витрати при управлінні великими мережами водозабірних свердловин.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРОВЕДЕННІ БУРОВИХ РОБІТ ПРИ ВЛАШТУВАННІ АРТЕЗІАНСЬКОЇ СВЕРДЛОВИНИ

4.1 Основні заходи та засоби санітарно-гігієнічного обслуговування робітників під час проведення бурових робіт

Організація належних санітарно-гігієнічних та побутових умов на майданчику буріння є базовою вимогою для збереження здоров'я і підтримання високої ефективності праці членів бурових бригад. Оскільки спорудження міської артезіанської свердловини має чіткі часові обмеження (від кількох тижнів до кількох місяців залежно від проєктної глибини й категорії міцності порід), капітальне будівництво стаціонарних побутових споруд є економічно та практично недоцільним. Санітарно-побутове обслуговування персоналу базується на розгортанні тимчасового мобільного (пересувного) інвентарного містечка контейнерного або вагонного типу.

Структура та облаштування тимчасового житлово-побутового містечка

Мобільне житлово-побутове містечко бурової бригади розгортається за межами потенційно небезпечної зони функціонування технологічного обладнання (на відстані, що становить не менше розрахункового радіуса висоти бурової щогли плюс додаткові 10 метрів). Комплекс тимчасових приміщень формується з таких обов'язкових функціональних блоків:

- Гардеробний блок: Призначений для роздільного й ізольованого зберігання особистого (домашнього) одягу та робочого спецодягу. Таке розділення мінімізує ризик перехресного забруднення повсякденних речей бентонітовим пилом та технологічними хімреагентами. Гардеробні модулі комплектуються індивідуальними металевими шафами з передбаченими вентиляційними отворами.
- Сушильне приміщення: Зважаючи на те, що бурові роботи проводяться цілорічно за будь-яких погодних умов, а технологічний процес супроводжується інтенсивним утворенням бризок промивного розчину, обов'язковим є облаштування спеціальної камери для сушіння робочого одягу та взуття. Вона

оснащується безпечними калориферами, ТЕНами із захисними металевими решітками та автономною примусовою припливно-витяжною вентиляцією.

- Душовий модуль та санітарний вузол: Забезпечується безперебійним гарячим і холодним водопостачанням. Нагрівання води здійснюється за допомогою накопичувальних або проточних електричних водонагрівачів (бойлерів). Санвузли облаштовуються у вигляді мобільних автономних біотуалетів із герметичними накопичувальними місткостями, які підлягають регулярному очищенню та обслуговуванню спеціалізованими службами.
- Модуль для відпочинку та вживання їжі (їдальня): Має бути повністю ізольованим від зони виконання робіт. Усередині встановлюються столи, стільці, побутова техніка для підігріву їжі, холодильне обладнання та умивальники з мийними засобами й одноразовими рушниками. Побутові вагони підлягають щоденному вологому прибиранню з обов'язковим застосуванням сертифікованих дезінфікуючих засобів.

Організація питного режиму та забезпечення водою

Постачання води на буровий майданчик здійснюється за двома незалежними напрямками: на технологічні потреби (приготування бурового розчину, промивання стовбура свердловини, очищення обладнання) та на господарсько-питні й гігієнічні потреби.

Важливо: Для пиття суворо заборонено використовувати воду з випадкових відкритих джерел або підключень до технічних ліній без попереднього проведення повного бактеріологічного та хімічного лабораторного аналізу.

Персонал у повному обсязі забезпечується привозною бутильованою водою гарантованої якості. Для її зберігання на майданчику монтуються закриті ємності (термоси) з харчового пластику або нержавіючої сталі, які встановлюють у тіні для запобігання перегріву та розвитку мікрофлори. У теплий період року норма видачі питної води становить не менше 3,5–5,0 літрів на одну особу за зміну. Для підтримання оптимального водно-сольового балансу працівників під час спеки рекомендовано забезпечувати газованою або слабкомінералізованою водою.

Санітарні вимоги до утримання території бурового майданчика

Вертикальне планування бурового майданчика має забезпечувати ефективне відведення поверхневих (дощових і талих) вод від місць розташування обладнання та побутового сектору. Територія об'єкта чітко поділяється на робочу (виробничу) та допоміжну (побутову) зони.

У межах виробничої зони зосереджуються циркуляційна система бурової установки, амбари-відстійники для збору бурового шламу та вузли приготування розчину. Шламові амбари повинні мати надійну протифільтраційну гідроізоляцію (зокрема, обтягуватися щільною полімерною плівкою або облаштовуватися глиняним замком), що виключає ризик просочування хімічних компонентів розчину в ґрунт і підземні водоносні пласти.

Побутові відходи, використане пакування від хімічних реагентів та інші тверді побутові відходи (ТБВ) збираються в металеві контейнери з щільними кришками, які встановлені на спеціально обладнаному твердому майданчику, і вивозяться зафіксованим автотранспортом у міру їх заповнення.

Забезпечення засобами індивідуального захисту (ЗІЗ)

Своєчасна видача та контроль застосування ЗІЗ регламентується чинними галузевими нормами охорони праці та є жорсткою вимогою для допуску персоналу до виконання будь-яких операцій на майданчику. Спецодяг має гарантувати надійний захист від механічних впливів, високої вологості та виробничого бруднення.

Базовим елементом екіпірування є костюм бурильника, який виготовляється зі щільної брезентової або спеціалізованої змішаної тканини з водовідштовхувальним (гідрофобним) просоченням та обов'язково оснащується світловідбивними елементами високої видимості. Безпека нижніх кінцівок забезпечується видачею спецвзуття у вигляді шкіряних черевиків або високих чобіт. Воно повинно мати антиковзний протектор підошви та інтегрований внутрішній металевий чи композитний підносок, що гарантує захист від ударних навантажень енергією до 200 Дж.

Для захисту голови працівників від предметів, що можуть падати з висоти щогли бурової установки, кожен робітник забезпечується захисною каскою. Вона виконується з ударостійкого полікарбонату, оснащується регульованим підборідним паском та внутрішнім текстильним амортизатором. Захист органів зору від шламу, пилу та хімічних речовин реалізується за допомогою захисних окулярів закритого типу з непрямою вентиляцією та лінзами, стійкими до подряпин і запотівання. Комплект ЗІЗ довершують робочі рукавиці − комбіновані або нітрилові з посиленим захистом долонної частини, причому для оператора бурової установки додатково передбачаються рукавиці з антивібраційними демпферними прокладками.

Повний комплекс відповідальності за своєчасне забезпечення, періодичну хімчистку, ремонт та заміну зношених ЗІЗ покладається на керівництво бурового підприємства. Вихід членів бригади на робочу платформу або до бурового станка без повного комплекту встановлених ЗІЗ розцінюється як грубе порушення правил безпеки з відповідними адміністративними наслідками.

4.2 Вплив виробничих шкідливостей на здоров'я робітників

Умови праці під час спорудження глибоких артезіанських водозабірних свердловин роторним методом характеризуються наявністю розгалуженого комплексу шкідливих і небезпечних чинників виробничого середовища (відповідно до чинної класифікації ДСТУ та гігієнічних регламентів України). Тривалий вплив цих факторів за недостатнього рівня захисту або нехтування правилами безпеки призводить до зниження імунобіологічної резистентності організму, виникнення загальносоматичних розладів та формування стійких професійних патологій. Для ефективного проєктування профілактичних інженерно-технічних заходів необхідно детально розглянути природу виникнення та механізм патогенного впливу кожної групи шкідливостей.

Віброакустичні чинники (виробничий шум та локальна вібрація)

Роторний спосіб буріння є енергомістким технологічним процесом, що супроводжується одночасною роботою багатьох великогабаритних агрегатів та

силових вузлів. Головними джерелами акустичного та вібраційного забруднення бурового майданчика є:

- дизельні або електричні двигуни головного приводу бурової установки;
- поршневі чи плунжерні бурові насоси, які забезпечують циркуляцію промивної рідини під високим тиском;
- роторний стіл, що передає крутний момент на ведучу трубу (келлі);
- лебідковий блок і талева система під час виконання динамічних спуско-підйомних операцій.

Рівень звукового тиску безпосередньо біля силових блоків бурової установки часто сягає 85–105 дБА, що суттєво перевищує гранично допустимі рівні (ГДР), встановлені санітарними нормами для тривалого перебування людини (80 дБА).

Постійне перебування в умовах високо- та середньочастотного шуму викликає специфічне ураження слухового аналізатора − розвиток незворотної хронічної професійної приглухуватості (кохлеарного неврита). Крім того, noise-ефект діє як загальний соматичний стресор: порушує функціонування центральної нервової системи, викликає передчасну втому, дезорієнтацію, провокує артеріальну гіпертензію та звужує поле зору робітника, що безпосередньо підвищує ризик допущення помилок під час роботи з важкими механізмами.

Локальна вібрація передається на руки машиніста (оператора) бурової установки через органи безпосереднього керування (важелі, штурвали, рукоятки засувок), а через металеву платформу бурової основи на стопи ніг впливає загальна вібрація. Тривалий контакт із вібраційними імпульсами призводить до розвитку вібраційної хвороби. Клінічно вона проявляється синдромом «білих пальців» (ангіоспазмом периферійних судин під дією низьких температур), стійким онімінням кінцівок, втратою тактильної і температурної чутливості, а також передчасним деструктивним руйнуванням суглобів верхніх кінцівок і хребта.

Специфікою роторного буріння артезіанських свердловин на воду є потреба в безперервному використанні промивного розчину високої щільності та в'язкості.

Для його приготування і коригування параметрів застосовують сухі порошкові матеріали та рідкі хімічні добавки.

Базовою основою такого розчину є бентонітовий глинопорошок, який забезпечує утримання шламу в підвішеному стані та створює щільну фільтраційну кірку на стінках свердловини. З погляду охорони праці, сухий бентоніт є фіброгенним пилом, який при вдиханні викликає хронічні пилові бронхіти, риніти, фарингіти, а за тривалого впливу на організм робітника може призвести до розвитку пневмоконіозу.

Як регулятор лужності (pH) та стабілізатор глинистих часток у технологічному процесі використовується каустична сода (NaOH). Цей компонент є агресивною хімічною речовиною, що спричиняє важкі лужні хімічні опіки шкіри, слизових оболонок очей, а також глибокі ураження дихальних шляхів.

Для зниження водовіддачі розчину та покращення винесення розбуреної породи з вибою на поверхню застосовують полімерні реагенти, такі як карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), крохмаль та поліакриламід (ПАА). При прямому контакті з ними без використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) у персоналу виникають подразнення шкірних покривів, алергічні дерматити та екземи.

Останнім важливим компонентом суміші є кальцинована сода (Na_2CO_3), яка додається для зниження жорсткості води перед замішуванням бентонітового порошку. Робота з нею без дотримання правил безпеки спровокує гостре подразнення очей та верхніх дихальних шляхів, а також викликає інтенсивну сухість і появу тріщин на шкірі рук.

Найбільша небезпека виникає під час операцій розвантаження мішків та засипання матеріалів у механічні або гідравлічні мішалки блока приготування розчину (БПР). Дрібнодисперсний пил бентоніту містить вільний діоксид кремнію (SiO). За умов роботи без засобів захисту органів дихання цей пил осідає у глибоких відділах легень, викликаючи незворотне заміщення легеневої тканини сполучною (фіброз). Це супроводжується хронічною задишкою, сухим кашлем та стійким зниженням загальної вентиляційної здатності легень.

Використання каустичної соди (NaOH) та інших сильних лугів вимагає особливої обережності. Потрапляння навіть дрібних кристалів соди на вологу шкіру або в очі викликає глибокі хімічні опіки без первинного відчуття сильного болю (на відміну від кислот, луги розчиняють білки тканин і утворюють альбумінати, проникаючи глибоко в тканини), що може призвести до повної втрати зору.

Метеорологічні та мікрокліматичні чинники

Буровий майданчик для влаштування міських артезіанських свердловин є відкритим промисловим об'єктом. Ключові технологічні операції (нарощування бурових труб, приймання та звинчування обсадних колон, обслуговування циркуляційної системи, очищення вібросит від шламу) виконуються робітниками безпосередньо просто неба протягом усього року. Персонал піддається комплексному впливу таких чинників:

- екстремально низькі температури повітря взимку, що посилюються високою швидкістю вітру;
- високі температури навколишнього середовища в літній період у поєднанні з прямою сонячною радіацією;
- підвищена вологість повітря, тумани, атмосферні опади у вигляді дощу та снігу.

Робота при низьких температурах призводить до інтенсивної тепловіддачі організму, загального переохолодження, спазму периферійних судин та зниження координації рухів пальців рук, що є вкрай небезпечним під час роботи з металевим важким інструментом і ключами. Це веде до різкого зростання кількості простудних та радикулітних захворювань.

Навпаки, влітку тривала робота біля розпечених металевих елементів бурової установки призводить до порушення терморегуляції, теплового та сонячного ударів, дегідратації (зневоднення) організму та згущення крові, що створює критичне навантаження на серцево-судинну систему.

Праця бурильника та його помічників належить до категорії важкої фізичної праці з високим рівнем нервово-емоційного напруження. Основні психофізіологічні шкідливості включають:

- Фізичне перевантаження (динамічне та статичне): Ручне піднімання, утримання та переміщення важких елементів (підкладних вилок, елеваторів, запірної арматури, мішків із реагентами вагою 25–50 кг). Сюди ж належить тривале перебування у незручних вимушених робочих позах (глибокі нахили, робота з піднятими вгору руками під час ремонту чи обслуговування вертлюга).
- Нервово-психічне перенапруження: Спровоковане потребою постійної граничної концентрації уваги. Оскільки буріння − процес, прихований від очей інженера, про його поточний перебіг судять опосередковано за показаннями приладів (манометрів, індикаторів ваги на гаку) та за характером вібрації бурової колони. Помилка у діях або несвоєчасна реакція на зміну тиску може призвести до важкої аварії (прихоплення інструменту, викиду розчину), що тримає персонал у стані постійного психологічного стресу.
- Змінність графіка роботи: Для запобігання ускладненням у стовбурі свердловини процес буріння ведеться цілодобово. Робота у нічні зміни руйнує природні циркадні біоритми людини, викликає хронічний дефіцит сну, що знижує швидкість реакції працівника в середньому на 30–40% у передранкові години, створюючи передумови для травматизму.

4.3 Проєктування системи штучного освітлення майданчика для проведення бурових робіт з прикладом розрахунку

Роторне буріння артезіанських свердловин для міського водопостачання належить до категорії безперервних виробничих процесів. Тимчасове припинення циркуляції промивного розчину або зупинка обертання бурової колони під час проходження нестабільних, схильних до обвалів чи каверноутворення літологічних пластів (наприклад, сипучих пісків, суглинків або тріщинуватих вапняків) категорично заборонені. Нехтування цим правилом створює високу загрозу аварійного прихоплення інструменту під дією гірського тиску та може

призвести до повної втрати свердловини. Зазначені обставини зумовлюють потребу в організації цілодобового та безперервного ведення технологічного процесу.

Надійне, рівномірне та безвідмовне штучне освітлення бурового майданчика у вечірній та нічний час є одним із найважливіших інженерно-технічних заходів із промислової безпеки та охорони праці. Незадовільні параметри світлового середовища (наявність глибоких затінених зон, засліплювальний ефект, пульсація світлового потоку) суттєво знижують точність ручних операцій при роботі з важкими елеваторами, ведучими трубами й буровими ключами, збільшують час реакції машиніста та стають безпосередньою причиною важкого виробничого травматизму.

Проєктування світлотехнічних установок для об'єктів буріння регламентується вимогами державних будівельних норм України ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» [22]. Відповідно до цих нормативних документів, мінімальна величина освітленості на рівні землі та робочих платформ диференціюється залежно від ступеня потенційної небезпеки та точності виконуваних операцій у конкретній технологічній зоні:

- роторний майданчик (основна робоча платформа) − не менше 50 лк;
- приймальні містки (зона розвантаження, укладання та дефектоскопії труб) – не менше 30 лк;
- територія циркуляційної системи (очисні блоки, вібросита, місткості) – не менше 30 лк;
- загальна територія бурового майданчика, внутрішні проїзди та проходи – не менше 10–25 лк.

Традиційні застарілі лампи розжарювання та газорозрядні ртутні лампи (ДРЛ) сьогодні не відповідають вимогам безпеки на бурових об'єктах через високу чутливість до вібраційних навантажень, тривалий час виходу на робочий режим після раптового вимкнення чи перепаду напруги, а також низьку енергоефективність.

Для сучасних бурових комплексів стандартом є впровадження світлодіодних (LED) прожекторів промислового призначення у вибухозахищеному та вологозахищеному виконанні. Вони стійкі до постійної технологічної вібрації, що передається від ротора на щоглу, миттєво запускаються при екстремальних температурах (від -40 до +50 °C), мають високу світловіддачу (понад 120–140 лм/Вт) та індекс передачі кольору $R_a > 80$.

Методологія інженерного розрахунку освітлення

Для відкритих великих площ, де розміщується бурове обладнання, найефективнішим є прожекторний метод розрахунку за питомою потужністю або світловим потоком. Цей метод дозволяє визначити необхідну кількість прожекторів та потужність кожного з них для створення нормованого рівня освітленості з урахуванням геометричних параметрів майданчика та коефіцієнтів втрат.

Основна інженерна формула для визначення загального світлового потоку ($Ф_{заг}$), яку повинна згенерувати освітлювальна система, має вигляд:

$$Ф_{заг} = \frac{E_н \cdot A \cdot k \cdot z}{\eta}$$

де $E_н$ − нормована мінімальна освітленість для заданої зони відповідно до ДБН, лк;

A − загальна площа території, що підлягає висвітленню, м²;

k − коефіцієнт запасу, який враховує природне зниження світлового потоку джерел через їх старіння, а також інтенсивне запилення та забруднення оптичної частини прожекторів бентонітовим пилом (для бурових майданчиків приймається k = 1,5);

z − коефіцієнт нерівномірності штучного освітлення, що залежить від типу світильників та геометрії їх розташування (для прожекторного освітлення відкритих територій приймається z = 1,15);

η − коефіцієнт використання світлового потоку (коефіцієнт корисної дії оптичної системи в реальних умовах), що показує, яка частина світла досягає

робочої поверхні (для відкритих просторів без відбиваючих стін приймається в межах η = 0,35 - 0,45).

Після визначення сумарного світлового потоку розраховується кількість прожекторів (N) за формулою:

$$N = \frac{\Phi_{заг}}{\Phi_1}$$

де Φ_1 − номінальний світловий потік одного обраного прожектора (вказується в паспорті виробу або розраховується як добуток його електричної потужності на питому світловіддачу: $\Phi_1 = P_1 \cdot \omega$).

Практичний приклад розрахунку прожекторного освітлення бурового майданчика

Вихідні інженерні дані:

- Об'єкт: відкритий майданчик для розгортання бурової установки УРБ-3А3 при влаштуванні міської артезіанської свердловини.
- Геометричні розміри майданчика: довжина L = 30 м, ширина B = 20 м. Загальна площа становить:

$$A = L \cdot B = 30 \cdot 20 = 600 \text{ м}^2$$

- Нормована мінімальна освітленість території за ДБН В.2.5-28:2018 [5] (для загальних робіт на буровому майданчику): $E_н = 25$ лк.
- Коефіцієнт запасу для умов підвищеної запиленості: k = 1,5.
- Коефіцієнт нерівномірності для прожекторних щогл: z = 1,15.
- Коефіцієнт використання світлового потоку для відкритої місцевості: η = 0,4.
- Обране обладнання: промисловий світлодіодний прожектор потужністю P_1 = 200 Вт із питомою світловіддачею ω = 130 лм/Вт.

Покрокове виконання розрахунку:

- Крок 1: Розраховуємо номінальний світловий потік, який випромінює один обраний світлодіодний прожектор потужністю 200 Вт:

$$\Phi_1 = P_1 \cdot \omega = 200 \cdot 130 = 26000 \text{ лм}$$

- Крок 2: Обчислюємо сумарний світловий потік, який необхідно подати на всю площу майданчика (600 м²) для створення безпечного світлового середовища:

$$\Phi_{заг} = \frac{25 \cdot 600 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}15}{0{,}4} = 64687{,}5 \text{ лм}$$

- Крок 3: Визначаємо необхідну кількість прожекторів для встановлення на об'єкті:

$$N = \frac{\Phi_{заг}}{\Phi_1} = \frac{64687{,}5}{26000} = 2{,}49$$

Обґрунтування округлення: Оскільки кількість світильників має бути цілим числом, а також з огляду на необхідність симетричного розподілу світла та виключення утворення «сліпих» затінених зон з іншого боку бурової вишки, отримане значення округляємо у більшу сторону до найближчого парного числа. Приймаємо до встановлення N = 4 прожектори.

Інженерно-технічні рекомендації щодо монтажу системи освітлення:

Для забезпечення максимальної рівномірності світлового поля та мінімізації засліплювального ефекту, 4 розраховані прожектори потужністю по 200 Вт необхідно розмістити на двох окремих щоглах (по 2 прожектори на кожній щоглі), встановлених по діагоналі на протилежних кутах бурового майданчика.

Висота встановлення прожекторів повинна бути не менше 6–8 метрів від рівня землі. Оптичний нахил світлового променя до горизонтальної площини має становити під кутом від 30º до 45º, що повністю виключає пряме потрапляння яскравого світла в очі машиніста бурової установки під час керування процесом з авторської платформи.

4.4 Основні причини травматизму при проведенні бурових робіт роторним способом

Роторний спосіб спорудження артезіанських свердловин супроводжується високим рівнем динаміки та значною концентрацією важкого великогабаритного обладнання на обмеженій площі майданчика. Системний аналіз виробничого травматизму в бурових організаціях свідчить, що більшість нещасних випадків і

аварійних ситуацій стається через кумулятивну дію технічних несправностей, недоліків в організації робочих процесів та людського чинника (зокрема, порушення технологічної дисципліни). Найбільш травмонебезпечними етапами є спуско-підйомні операції (СПО), нарощування бурового стовбура, ліквідація складних гідрогеологічних ускладнень у свердловині, а також монтаж і демонтаж бурової щогли.

Механічний травматизм при контакті з елементами, що обертаються

У роторному бурінні передача крутного моменту на породоруйнівний інструмент (долото) здійснюється шляхом обертання всієї колони бурових труб. Основним вузлом, що забезпечує цей процес на денній поверхні, є роторний стіл, у який встановлюються вкладиші, що фіксують ведучу трубу (келлі).

Ключовими причинами травматизму в цій технологічній зоні є:

- Відсутність або умисний демонтаж захисного огородження ротора: Під час обертання ведучої колони з високою частотою (100–150 об/хв) виникає критична загроза захоплення вільних частин спецодягу (полів куртки, манжетів, рукавиць) або волосся працівника рухомими елементами. Це призводить до миттєвого затягування людини під роторний стіл, що спричиняє важкі політравми, ампутації кінцівок або летальні наслідки.
- Використання нештатного інструменту для розкріплення різьбових з'єднань: Застосування ручних затискачів або саморобних ключів замість автоматизованих аналогів (наприклад, стаціонарних гідроключів типу АКБ) призводить до їх зриву під дією значного крутного моменту. Відлітаючий металевий інструмент здатний завдати персоналу несумісних із життям травм.

Руйнування та аварії вишково-портальних конструкцій

Бурова щогла під час виконання робіт сприймає колосальні статичні та динамічні вертикальні навантаження від власної ваги бурової колони, сил тертя об стінки стовбура, а також зовнішні вітрові навантаження. Аварійне складання (раптове руйнування) щогли належить до категорій катастрофічних подій на буровому майданчику.

- Перевищення допустимої вантажопідйомності (перевантаження лебідкового блока): Найчастіше це стається під час ліквідації заклинювань (прихоплень) бурового інструменту в свердловині. Намагаючись «зірвати» колону, машиніст створює натяг, що значно перевищує граничну міцність металоконструкцій вишки, через що вона втрачає поздовжню стійкість і руйнується.
- Неправильний монтаж вітрових відтяжок (розчалок): Якщо сталеві канати, які стабілізують щоглу, закріплені до невібростійких або слабких заземлених анкерів, при різкому пориві вітру або резонансній вібрації від ротора щогла може перекинутися на побутове містечко або робочу платформу.

Конструкція бурової установки передбачає наявність верхніх ярусів (зокрема, майданчика верхового робітника), розташованих на висоті від 10 до 25 метрів.

Основна небезпека полягає в падінні інструментів, болтів, елементів кріплення або уламків труб із висоти на роторну платформу, де працює решта бригади. Навіть дрібний предмет (наприклад, гайка або підкладна вилка), падаючи з висоти 15 метрів, набуває кінетичної енергії, здатної пробити захисну каску. Головними причинами таких інцидентів є відсутність захисних бортів на верхніх містках та невикористання робітниками спеціальних страхувальних фалів для ручного інструменту.

Руйнування гідравлічних систем високого тиску

Промивний розчин закачується в свердловину через вертлюг та гнучкий буровий шланг під тиском, який в умовах роторного буріння може становити 5–12 МПа (50–120 атмосфер).

Знос або неякісна фіксація штуцерів та швидкорознімних з'єднань (ШРЗ): У разі гідравлічного удару або критичного засмічення насадок долота тиск у системі різко зростає. Якщо гнучкий напірний шланг не обладнаний спеціальним страхувальним сталевим канатом, закріпленим до нерухомої конструкції щогли, при вириванні шланга з гнізда він починає хаотично і з величезною силою рухатися в просторі під дією реактивної сили розчину. Такий «біючий» шланг

завдає смертельних ударів персоналу, що перебуває поруч, та миттєво руйнує навколишнє обладнання.

4.5 Пожежна безпека на буровому майданчику

Буровий майданчик для спорудження артезіанських свердловин є об'єктом підвищеної пожежної небезпеки. Це зумовлено одночасним зосередженням значних обсягів легкозаймистих і горючих речовин, експлуатацією потужних електроустановок, проведенням вогневих робіт та потенційною можливістю виходу на поверхню горючих газів (зокрема, метану) при розкритті глибоких водоносних пластів із газопроявами [23].

Основними вогнищами можливого виникнення пожежі на об'єкті буріння є:

- склад паливно-мастильних матеріалів (ПММ): дизельне паливо для приводів установок (типу ЯМЗ, Cummins), моторні та гідравлічні оливи, які зберігаються в металевих цистернах або бочках;
- дизель-генераторна станція та шафи керування (електроустаткування): працюють під високим експлуатаційним навантаженням; можливе коротке замикання, перевантаження кабельних ліній або іскрення в комутаційній апаратурі;
- гирло свердловини: при проходженні пластів, що містять органічні рештки, можливі газопрояви. Метан, виходячи разом із буровим розчином через циркуляційну систему, утворює з атмосферним повітрям вибухонебезпечну суміш.

Комплекс організаційно-технічних протипожежних заходів

Для запобігання виникненню пожежі та мінімізації її наслідків на буровому майданчику впроваджується жорсткий протипожежний режим:

- Правила організації складу ПММ: Склад палива повинен розташовуватися на відстані не менше 40 метрів від гирла свердловини та побутових вагонів, обов'язково з підвітряного боку відносно панівних вітрів. Територія складу повністю очищається від сухої рослинності, обноситься земляним валом

(обвалуванням) заввишки не менше 0,5 м, який у разі аварії утримає розлите паливо від розтікання по майданчику.

- Електростатична безпека та заземлення: Усі металеві рами бурової установки, блоки очищення розчину, цистерни ПММ та корпуси генераторів підключаються до єдиного контуру захисного заземлення. Опір заземлювального пристрою не повинен перевищувати 4 Ом. Це запобігає накопиченню статичної електрики та виключає появу іскри, здатної підпалити пари палива.
- Вогневі роботи: Проведення зварювальних або газорізальних робіт на буровій платформі дозволяється лише у виняткових випадках за наявності письмового Наряду-допуску, підписаного головним інженером підприємства. Перед початком зварювання припиняється процес буріння, гирло свердловини герметизується (перекривається), а місце робіт ретельно очищається від слідів олив і захищається негорючими екранами.

Оснащення первинними засобами пожежогасіння

Кожен буровий майданчик комплектується стаціонарними пожежними щитами (типу ЩП-В або ЩП-Е), розташованими у легкодоступних місцях (біля бурового блока, дизельної станції та складу ПММ).

Відповідно до розробленого переліку первинних засобів пожежогасіння, на об'єкті передбачено розміщення двох порошкових вогнегасників типу ОП-10, призначених для ліквідації займань твердих речовин, паливно-мастильних матеріалів, а також електроустановок, що перебувають під напругою до 1 кВ. Для захисту чутливого електрообладнання, генераторів та мінімізації наслідків пошкодження електричних мереж майданчик додатково комплектується двома вуглекислотними вогнегасниками ОУ-5.

Локалізація та ліквідація можливих розливів дизельного палива чи мастил на ґрунті здійснюється за допомогою одного ящика із сухим піском місткістю 0,5 $м^3$. З метою ізоляції вогнища від доступу кисню (зокрема, у випадку загоряння двигуна) на щитах передбачено одне протипожежне полотно (кошма) розміром 2·2 м. Для виконання допоміжних робіт під час гасіння пожежі об'єкт

забезпечується одним комплектом шанцевого інструменту, до складу якого входять совкові та штикові лопати, металевий багор, сокира та два конусні відра.

Усі працівники бурової бригади зобов'язані пройти курс пожежно-технічного мінімуму, знати правила евакуації та вміти користуватися вогнегасниками. Доступ до пожежних щитів та проїзди для пожежних автомобілів до бурової установки мають бути завжди вільними.

4.6. Висновки до 4-го розділу

1. Пріоритетність системного підходу: Роторне буріння для потреб міського господарсько-питного водопостачання є процесом із високою концентрацією виробнічих шкідливостей (шум, вібрація, хімічні реагенти). Ефективна протидія їх патогенному впливу на здоров'я робітників можлива лише за умови одночасного застосування колективних інженерних засобів (віброізоляція, герметизація вузлів приготування розчину) та суворого контролю за використанням сертифікованих засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

2. Технологічна дисципліна як основа зниження травматизму: Найбільш важкі травми під час роторного буріння пов'язані з рухомими елементами (ротор, келлі) та системами високого тиску (бурові шланги). Своєчасний монтаж захисних кожухів, використання страхувальних сталевих канатів на напірних лініях та недопущення перевищення критичних навантажень на щоглу при ліквідації прихоплень є обов'язковими технічними заходами для збереження життя персоналу.

3. Ефективність протипожежного захисту: Забезпечення пожежної безпеки на буровому об'єкті досягається за рахунок просторового розділення зон ризику (винесення складу ПММ на відстань від 40 м з обов'язковим обвалуванням), створення надійного заземлювального контуру з опором до 4 Ом для зняття статичної напруги та повної комплектації майданчика первинними засобами гасіння (порошковими та вуглекислотними вогнегасниками).

4. Економічна та соціальна доцільність інвестицій в охорону праці: Створення здорових і безпечних умов праці на буровому майданчику − це не

просто виконання контролюючих вимог законодавства України, а економічно обґрунтований елемент успішного будівництва об'єктів водопостачання міста. Мінімізація аварійності, відсутність виробничого травматизму та збереження здоров'я висококваліфікованих фахівців забезпечують безперервність буріння, високу якість кріплення стовбура свердловини та здачу об'єкта в експлуатацію в проєктні терміни.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено природно-кліматичні та гідрогеологічні умови району розташування підземного водозабірного комплексу. На основі аналізу вихідних даних та положень чинної нормативної бази визначено питомі норми водоспоживання і розраховано перспективні витрати води, що стали підґрунтям для проєктування споруд забору, транспортування та розподілу води для потреб населеного пункту.

2. Здійснено повний гідравлічний розрахунок міської кільцевої водопровідної мережі з водонапірною баштою на початку. Це дозволило обчислити лінійні втрати напору на ділянках, визначити величини вільних напорів у вузлових точках, а також побудувати графіки п'єзометричних ліній для двох критичних режимів роботи системи: максимального господарсько-питного водозабору та ліквідації пожежі під час пікового споживання.

3. Проведено розрахунок параметрів артезіанських свердловин, які прийняті у якості підземного водозабору для господарсько-питних потреб населеного пункту, що дозволило визначити кількість свердловин, їх дебіт, враховано взаємовплив при одночасній роботі.

4. Проведено розрахунок параметрів підруслового променевого водозабору, що дозволяє забезпечити подачу води на сільськогосподарські потреби у необхідній кількості.

5. Розглянуто причини деградації та зниження дебіту підземних водозаборів. Проаналізовано сучасні методи регенерації артезіанських свердловин. Приділено увагу особливостям їх технічного обслуговування.

6. Розроблено комплекс інженерно-профілактичних заходів з охорони праці та промислової безпеки для працівників бурової бригади при проведенні бурових робіт. Сформовані рішення спрямовані на повне викорінення виробничого травматизму, суворе дотримання вимог пожежної безпеки та підтримання належних санітарно-гігієнічних умов праці.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Агрокліматичний довідник по Харківській області / За ред. М. Т. Лисенка. − Харків : Харківська гідрометеорологічна обсерваторія, 1959. − 168 с.
2. Геологія і корисні копалини Харківської області / Відп. ред. Є. Ф. Шнюков. − Харків : УкрДГРІ, 2005. − 246 с.
3. Гідрогеологія України : підручник / В. М. Шестопалов, А. Є. Лукін, В. А. Святовець та ін. − Київ : Логос, 2007. − 641 с.
4. ДержСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». – 2010. − [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text.
5. ДБН В.2.5 - 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. –К.: ДП «Укрархбудінформ», 2013. – 171 с.
6. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник для студентів ВНЗ. – К.: Знання, 2009. – 735 с.
7. Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. Водопостачання та водовідведення: Підручник. – К.: Знання, 2011. – 359 с.
8. Ткачук О.А., Косінов В.П., Новицька О.С. Системи подачі і розподілення води: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2012.
9. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: Підручник. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
10. Методичні вказівки для проведення практичних занять та індивідуальної роботи з дисципліни «Основи бурової справи» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» / Укладачі: А.С. Карагяур, О.А. Сироватський, А.А. Тітов, О.Г. Гайдучок. – Харків: ХНУБА, 2020. – 31 с.
11. Тугай А.М., Терновцев В.О., Тугай Я.А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2001. – 256 с.
12. Орлов В.О., Тугай А.М., Орлова Я.А. Водопостачання та водовідведення: Підручник. – К.: Знання, 2011. – 359 с.

13. Величко С.В., Дупляк О.В. Гідротехнічні водозабірні споруди. Водозабірні свердловини: Методичні вказівки до виконання курсового проєкту. – К.: КНУБА, 2021.
14. Дробноход М.І. Оцінка запасів підземних вод: Підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2008. – 384 с.
15. Колодій В.В. Гідрогеологія: Підручник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. – 368 с.
16. Шадура В.О., Кравченко Н.В. Водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2018. – 343 с.
17. Тугай А.М., Орлов В.О., Шадура В.О., Мартинов С.Ю. Міські інженерні мережі та споруди: Підручник. – К.: Укргеліотех, 2010. – 256 с.
18. Houben G. J., Treskatis C. Water Well Rehabilitation and Reconstruction. McGraw-Hill Education, 2007. − 381 p.
19. Driscoll F. G. Groundwater and Wells. 3rd ed. Johnson Filtration Systems, 1986. 1089 p.
20. Cullimore D. R. Practical Manual of Groundwater Microbiology. 2nd ed. CRC Press, 2007. − 360 p.
21. Pyne R. D. G. Aquifer Storage Recovery: A Guide to Groundwater Recharge Through Wells. 2nd ed. ASR Systems, 2005. − 608 p.
22. ДБН В.2.5 – 28:2018. Природне і штучне освітлення. − ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» , 2019. – 153 с.
23. Охорона праці та пожежна безпека [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://oppb.com.ua/articles (дата звернення 15.06.2026). – Назва з екрану.