

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

Природничих наук та технологій

(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Фоменко Катерини Володимирівни
(ПІБ)

академічної групи 103м-20-2
(шифр)

спеціальності Гідрогеологія
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 103 «Науки про Землю»
(офіційна назва)

на тему: «Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод
Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт»
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Загриценко А.М.			
розділів:				
Загальний	Загриценко А.М.			
Спеціальний	Загриценко А.М.			

Рецензент	Ішков В.В.			
-----------	------------	--	--	--

Нормоконтролер	Дерев'ягіна Н.І.			
----------------	------------------	--	--	--

Дніпро

2022

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
гідрогеології та інженерної геології
(повна назва)

Рудаков Д.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)
« _____ » січня 2022 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студентки Фоменко К.В.
(прізвище та ініціали)

академічної групи 103м-20-2
(шифр)

спеціальності Гідрогеологія

за освітньо-професійною програмою 103 «Науки про Землю»
на тему «Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод
Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт»
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 27.10.2021
№937-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод в зоні впливу гірничих робіт, методів прогнозування гідродинамічних змін та способів управління	11.10.2021- 31.10.2021
Спеціальний	Характеристика геолого-гідрогеологічної будови вугільного родовища Західного Донбасу, основних факторів обводнення гірничих виробок шахт. Обґрунтування методичних підходів створення чисельних моделей шахтних полів. Варіантні прогнозні розрахунки ефективності водорегулювання при закритті шахт. Організація системи моніторингу	01.11.2021- 11.01.2022

Завдання видано

(підпис керівника)

Загриценко А.М.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі

11.10.2021 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

11.01.2022 р.

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Фоменко К.В.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: с. 99, табл. 7, рис. 29, джерел 65.

Об'єкт досліджень – гідрогеодинамічні процеси в гірському масиві, що формуються під впливом розвитку та згортання підземних гірничих робіт

Предмет досліджень – геофільтраційні параметри порушеного гірського масиву, що визначають ефективність заходів водорегулювання.

Мета роботи – аналіз умов та факторів формування гідродинамічного режиму підземних вод Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт з використанням методу математичного моделювання геофільтрації.

У вступі окреслена проблема екологічно та технічно безпечного закриття шахт в умовах докорінного перетворення геологічного середовища, де основним динамічним фактором є підземні води. Визначені об'єкт та предмет досліджень, мета та завдання кваліфікаційної роботи.

В загальній частині виконаний аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод в зоні впливу гірничих робіт, методів прогнозування гідродинамічних змін та способів управління водообміном.

В спеціальній частині систематизовані дані щодо геолого-гідрогеологічної будови вугільного родовища Західного Донбасу, визначені основні фактори обводнення гірничих виробок шахт, обґрунтовані методичні підходи до створення чисельних моделей шахтних полів, виконані варіантні прогнозні розрахунки ефективності водорегулювання при закритті шахт, запропонована система організації моніторингу.

Наукове та практичне значення полягає у встановленні параметрів ефективного управління гідродинамічним режимом підземних вод для захисту від підтоплення заплави річки Самари при закритті шахт.

Соціальний ефект досягається при відновленні природного режиму при поверхневої гідросфери, що використовується для водопостачання, та забезпеченні умов експлуатаційної придатності житлових будівель, що знаходяться в зоні потенційного підтоплення.

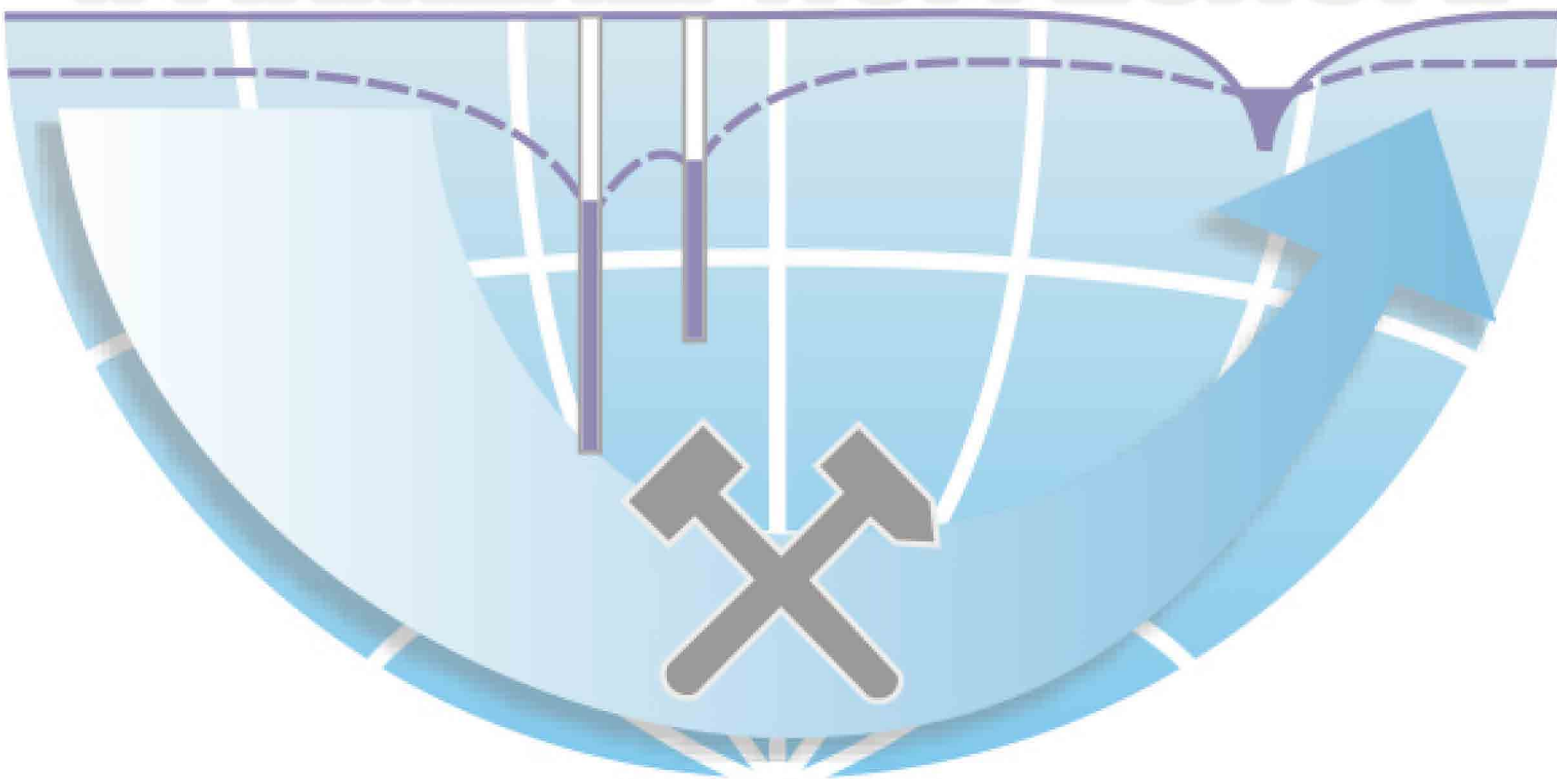
Ключові слова: шахтний водовідлив, депресійна воронка, моделювання геофільтрації, параметри проникності, відновлення рівня, підтоплення

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСВІДУ ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ	8
1.1 Особливості формування техногенного режиму підземних вод в межах шахтних полів	8
1.2 Способи водорегулювання порушеного гірського масиву	19
1.3 Методи прогнозування гідродинамічних змін	26
2 ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ	33
2.1 Характеристика геолого-гідрологічної будови вугільного родовища	34
2.2 Основні фактори обводнення гірничих виробок шахт	40
2.3 Фільтраційні властивості вуглевміщуючої товщі	47
2.4 Динаміка затоплення гірничих виробок в Західному Донбасі	52
3 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ШАХТНИХ ПОЛІВ	54
3.1 Загальні положення з теорії моделювання гідродинамічних процесів	54
3.2 Обґрунтування схеми побудови математичної моделі геофільтрації шахтного поля	58
3.3 Фізико-математичний алгоритм чисельних моделей геофільтрації	62
3.4 Опис геофільтраційної моделі шахтних полів	67
4 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ	74
4.1 Збереження існуючого підземного комплексу головного водовідливу	75
4.2 Підтримання водовідливного режиму занурювальними насосами ..	76
4.3 Будівництво водозабору технічної води в продуктивній товщі	

	5
палеоруслових пісковиків підвищеної проникності	79
5 ОРГАНІЗАЦІЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК СКЛАДОВОЇ ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ	257
5.1 Моніторинг при затопленні шахтних полів	82
5.2 Регламент гідрогеологічних спостережень та їх інтерпретація при затопленні шахти	86
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАННИХ ДЖЕРЕЛ	90
Додаток А Відгук керівника	97
Додаток Б Відгук рецензента	98
Додаток В Довідка про перевірку на плагіат	99

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ВСТУП

Актуальність теми кваліфікаційної роботи визначається умовами сьогодення, коли питання безпечного закриття та затоплення шахт постає в «наймолодшому» вугільному регіоні України. Регіон Західного Донбасу характеризується складними гідрогеологічними умовами вугільного родовища, де 70% вугільних запасів залягає в заплаві річки Самари та її притоків, а величини осідання земної поверхні внаслідок обвалення покрівлі гірничих виробок сягають 4,5 м. Закриття шахт відбувається в умовах змінених геомеханічних, фільтраційних і ємнісних параметрів масиву, осідання земної поверхні, гідрохімічної інверсії та ін. Внаслідок цього при відключенні водовідливу шахт і відновленні рівня підземних вод на підробленій території формуються затоплені безстічні поверхні, що ускладнює використання земель сільгоспризначення та експлуатацію житлової забудови.

Досвід ліквідації вугільних шахт свідчить про те, що технічні рішення, у своїй більшості, тяжіють до будівництва чи розширення потужних водовідливних комплексів на нижніх дренажних горизонтах з метою організованого перепуску води на діючі шахти. Питання майбутнього затоплення шахт залишається відкритим. Для управління рівневим режимом на верхніх горизонтах знадобляться додаткові інвестиції, при цьому ступінь вірогідності прогнозів не буде збільшена в порівнянні з існуючою інформаційною базою.

Важливим аспектом проблеми є значні капітальні та експлуатаційні витрати на будівництво і утримання водовідливних комплексів. Ситуація ускладнюється недотриманням термінів будівництва капітальних водовідливних комплексів. Це, у свою чергу, приводить до додаткових витрат на фізичну ліквідацію шахт за рахунок їх утримання.

Недосконалість методичних підходів прогнозування гідродинамічного режиму в умовах закриття і затоплення шахтних полів, недостатня

ефективність на практиці традиційних підходів до прийняття технічних рішень визначили мету і задачі кваліфікаційної роботи.

Мета роботи – аналіз умов та факторів формування гідродинамічного режиму підземних вод Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт з використанням методу математичного моделювання геофільтрації.

Для досягнення мети поставлені та вирішені наступні завдання:

1. Аналіз техногенних змін гідрогеологічного режиму підземних вод в межах шахтних полів, методів їх прогнозування та способів управління геофільтрацією при закритті та затопленні шахт.

2. Встановлення умов та факторів обводнення гірничих виробок шахт Західного Донбасу на основі систематизації даних щодо природних геолого-гідрогеологічних умов та геотехнологічних особливостей процесу розробки родовища.

3. Обґрунтування методики моделювання геофільтраційних моделей шахтних полів.

4. Розробка та прогноз ефективності заходів водорегулювання при закритті шахт.

5. Організація гідрогеологічного моніторингу процесу відновлення рівнів підземних вод як обов'язкової складової водорегулювання

Об'єктом дослідження є гідродинамічні процеси в гірському масиві, що формуються під впливом розвитку та згорання підземних гірничих робіт

Предмет дослідження – геофільтраційні параметри порушеного гірського масиву, що визначають ефективність заходів водорегулювання.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОСВІДУ ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ

1.1 Особливості формування техногенного режиму підземних вод в межах шахтних полів

Процес підземного видобування вугілля вважається дослідниками одним з найбільш масштабних типів техногенезу, що за інтенсивністю і глибиною перетворень порівнюється з геогенезом [1, 2]. Вперше поняття техногенезу введено Вернадським В.І. (1933 р.) та Ферсманом О.Є. (1934 р.) і розвинуто Плотніковим М.І., Шестаковим В.М., Мироненко В.О., Руминіним В.Г., Норватовим Ю.О., Тютюновою Ф.І. та ін. стосовно гірничого виробництва і підземних вод [3-8].

За походженням техногенез гірничодобувного профілю дослідники Ємлин Є.Ф., Кецько О.Г., Палкін С.В., Гуман О.М., Єлохіна С.М., Рибникова Л.С. та ін. поділяють на техногенез прогресивної (активної) та регресивної (пасивної) стадії [9-13].

Перша стадія активного техногенезу відповідає експлуатаційному етапу, коли при розкритті та освоєнні родовища за рахунок дренажних заходів порушується гідродинамічна та геогідрохімічна рівновага, а переміщення маси гірських порід змінює геомеханічний стан масиву і геофізичні поля (гравітаційні, теплові та ін.). На другій пасивній стадії техногенезу за відсутністю активних технічних заходів відбувається відновлення порушених умов. Комплекс геологічних процесів на пасивній стадії носить успадкований характер від інженерних заходів активної стадії. Проте повна регресія геосистеми в початковий стан неможлива в силу її незворотної порушеності.

Основним динамічним компонентом геологічного середовища, за допомогою якого відбувається енерго-, масо- і теплоперенос, є підземні води.

Вони здатні змінювати властивості геосистеми та оточуючого середовища, активізувати дію екзогенних і навіть ендегенних процесів [14].

Техногенний режим підземних вод в межах гірничо-видобувних регіонів характеризується порушенням гідродинамічного, гідрохімічного і теплового режиму та відрізняється особливим динамізмом і залежністю від гірничо-геологічних факторів. До того ж на кожному етапі функціонування вугільного підприємства, починаючи від будівництва та експлуатації до згорання гірничих робіт та періоду постексплуатації, процеси формування підземних геофільтраційних потоків мають певні особливості.

На етапі розвідки і власне експлуатації вугільних родовищ виникають завдання обґрунтування економічно ефективних і безпечних умов ведення гірничих робіт, що забезпечують повноту вилучення корисних копалин і охорону водних ресурсів.

Слід зазначити, що різні за призначенням підземні виробки, мають різний ступінь впливу на порушення природного режиму підземних вод [15, 16]. Наприклад, дренажна дія підготовчих виробок обмежується зниженням напорів розкритих водоносних пластів при мінімальних деформаціях підробленого масиву гірських порід. Порушення режиму геофільтрації при розкритті водоносних пластів шахтним стволом має тимчасовий характер і обмежується періодом до його гідроізоляції. Максимальний дренажний ефект проявляється при веденні очисних гірничих робіт з повним обваленням покрівлі виробок. В цьому випадку розвиток процесу зрушення гірничих порід призводить до змін структури і властивостей масиву, до розкриття існуючих та формування нових тріщин і, як наслідок, підвищення водопроникності і активізації гідравлічного зв'язку між водоносними горизонтами та водними об'єктами на поверхні. Тому, при оцінці техногенного режиму підземних вод продуктивної товщі шахтного поля слід вважати, що формується він головним чином при веденні очисних робіт під дією гідргеомеханічних процесів в гірському масиві.

В цьому аспекті розглядати техногенний режим підземних вод в зоні впливу гірничих робіт слід з використанням комплексного гідрогеомеханічного підходу, де підземні води це фактор, що змінює напружений стан та міцність гірських порід, обумовлює деформації внаслідок механічного виносу або розчинення часток, а обвалення покрівлі гірничих виробок призводить до зміни параметрів проникності масиву.

Висота зони водопровідних тріщин (ЗВТ) залежить від потужності пласта, що виймається, літологічного складу й ступеню метаморфізму вміщуючих порід, швидкості руху лави та ін. технологічних факторів. Проте рядом досліджень [16-20] підтверджено, що під дією гірничого тиску тріщини зникають, тріщинуватість масиву зменшується в часі, а знижені напори відновлюються.

Техногенний режим підземних вод визначається спільним розвитком геомеханічних і фільтраційних процесів в породному масиві, що розкривається гірничими виробками. Максимальний дренажний ефект при розробці родовищ корисних копалин проявляється при веденні очисних робіт з управлінням покрівлею повним обваленням. Розвиток процесу зрушення над виробленим простором призводить до збільшення проникності порід покрівлі і формування зони водопровідних тріщин (ЗВТ).

При виїмці корисної копалини без подальшої закладки гірські породи, що залягають вище за розрізом, зміщуються у вироблений простір (рис. 1.1). Найближчі до нього шари (зона 1) безпорядно обвалюються, вище – товща прогинається і зберігає шарувату будову, але в нижній частині утворюються тріщини як вертикальні (січні), так і розшарування, що простягаються паралельно нашаруванню (зона 2).

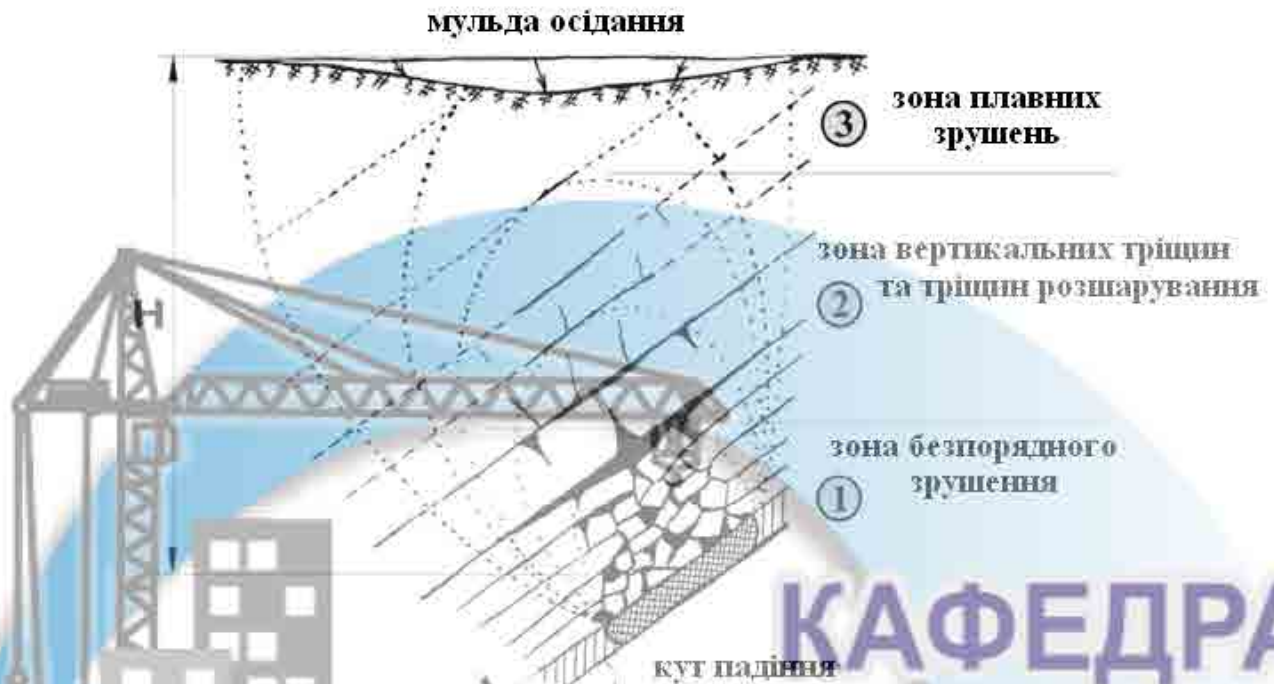


Рисунок 1.1 – Схематичний розріз підробленого породного масиву (Н)

Проникність порід різко збільшується в порівнянні з природною, що особливо важливо враховувати в економічній діяльності під поверхневими водотоками та водоймами, здатними забезпечити катастрофічні водопритокки в шахту через вертикальні техногенні тріщини. У верхній частині підробленого масиву розташовується зона (3) порід, яка практично не змінює вертикальної проникності. Нерівномірне осідання денної поверхні на площі шахтного поля призводить до порушення природних умов поверхневого стоку, формування затоплених мульд зрушення (рис. 1.1).

Висота ЗВТ залежить від літологічних і міцнісних характеристик підробленого масиву, його напруженого стану і технологічних параметрів очисних робіт (потужності пласта m , що виймається, розмірів очисної виробки, швидкості руху лави та ін.). Однак основним фактором вважають властивості гірських порід. Наприклад, в масивах, що представлені породами глинистого складу, висота ЗВТ може не перевищувати $4m$, а в метаморфізованих тектонічно порушених породах сягає $80m$.

Для умов шахт Західного Донбасу встановлено (за результатами досліджень Лисиці І.Г. і Василенко Г.Г.), що потужність ЗВТ становить 16

потужностей вугільного пласту ($16m$). Вище висоти $h > 20$ м розшарування підробленої товщі порід незначне, а тріщини розшарування розкриваються тільки на короткий час. Ці дані покладені в основу діючих нормативів з визначення безпечної межі ведення гірничих робіт

Відпрацювання пласта C_8 за межами встановленої нормативами межі безпечного ведення гірничих робіт вперше здійснено в Західному Донбасі в 1989 році у 832-й експериментальній лаві за спеціальним проектом [21]. Цьому передували експериментальні дослідження в зоні підробки 802-ої лави. В результаті встановлено, що розвиток вертикальних тріщин не поширюється вище зони, яка дорівнює 11 виїмковим потужностям пласта [21]. Винесення фракцій бучацького піску в робочий простір лави відзначалося при кратності підробки $8m$. Гірничими роботами на шахті «Тернівська» по пласту C_8 велася підробка бучацького водоносного горизонту зі зменшенням потужності водозахисного шару до 14,8 кратності пласта, що виймається.

При відпрацюванні вугільних пластів продуктивної товщі шахтного поля утворюються 2...4 яруси ЗВТ відповідно шарам безпосередньої та основної покривель. Як показали геофізичні дослідження на полі ш. «Степова», після підробки коефіцієнти фільтрації алевролітів у ЗВТ збільшуються в 2,2 рази, а пісковиків і вапняків в 5...32 рази.

Збільшення фільтраційних властивостей порід відзначається в зоні безладного обвалення ($0,4 m$) - в 19...32 рази, в зоні тріщин і розломів ($4m... 16m$) в 6...12 разів, в зоні плавного прогину ($16 m... 20 m$) до 2,2 разів.

Таким чином, в зоні водопровідних тріщин товща вугленосних відкладів, незалежно від літологічного складу порід, стає водопроникною.

При цьому процес формування ЗВТ в підробленому масиві протікає протягом тривалого часу. На початку першого періоду відбувається зрушення порід і утворення тріщин, в результаті чого коефіцієнти фільтрації збільшуються, а притоки води в гірничі виробки зростають. Так, по пласту $C_5 + C_5^g$ у східному і західному крилах бремсбергової частини поля шахти

ім. М.І. Сташкова збільшення притоку води спостерігалось протягом 6 років, а по пластах C_8^g , C_8^h – 8 років. Другий період характеризується ущільненням ЗВТ і кольмотацією тріщин, при якому проникність порід зони поступово знижується, а притоки води в гірничі виробки стабілізуються, незважаючи на постійне збільшення площі виробленого простору, а потім зменшуються.

Зниження рівнів водоносних горизонтів карбону в зонах дренуючого впливу гірничих виробок відзначається до нижніх відміток ведення гірничих робіт.

В результаті виймання корисної копалини і зрушення покрівлі вугільних пластів на поверхні землі формуються мульди зрушення. Так просадка денної поверхні в результаті підробки простежується в балці Таранова на ділянці відпрацювання пластів C_8^h , $C_7 + C_7^b$ (ш. «Дніпровська»). Площа просідання і порушення поверхневого стоку становить 2,2 га. У верхній частині схилу балки формуються деформації з розривом суцільності четвертинних порід. До зони осідання денної поверхні потрапили ділянки автодороги загальною протяжністю 7,3 км та залізничних колій протягом 2,2 км.

За фондовими матеріалами максимальні осідання підробленої денної поверхні до 4,85 м зафіксовані після відпрацювання вугільних пластів C_8^g , C_8^h , $C_7 + C_7^b$, $C_5 + C_5^b$ і C_4 .

На етапі інтенсивної експлуатації вугільного родовища техногенний режим підземних вод характеризується різкою зміною умов розвантаження водоносних горизонтів та напрямку руху підземних вод, збільшенням градієнтів підземного потоку, інтенсифікацією перетікання між горизонтами, порушенням загального балансу підземного і поверхневого стоку [22, 23]. При цьому порушується вертикальна зональність підземної гідросфери (рис. 1.2). Зона інтенсивного водообміну занурюється (рис. 1.2, б), що призводить до активізації зв'язку між гірничими виробками та водами покривних відкладень, поверхневими водотоками, збільшення водопритоку та виснаження ресурсів прісних вод.



Рисунок 1.2 – Схема водообміну у геологічній структурі шахтного поля: а) природний режим; б) в зоні впливу гірничих робіт

В якості техногенних джерел живлення підземних вод виступають ставки-накопичувачі шахтних вод, гідровідвали, шламосховища, мульди

осідання, технічні та екологічні аспекти роботи яких розглянуті в роботах Євграшкіної Г.П., Пасічного В.Г., Блюсса Б.О., Семененка Є. В та ін.

Слід зазначити, що в усіх гірничо промислових регіонах України та світу техногенні зміни підземної та поверхневої гідросфери мають схожі ознаки і проявляються в формуванні на поверхні мульд осідання та зон підтоплення, кількісних та якісних порушеннях в експлуатації питних водозаборів, забрудненні ґрунтових вод за рахунок інфільтраційних втрат зі ставків-накопичувачів шахтних вод.

За даними [24] загальна площа підроблених гірничими виробками земель в Україні перевищує 5,5 тис. км², де зафіксовані осідання та зрушення над підземними виробками на площі понад 2,4 тис. км², з них підтоплені є близько 157 км² (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Відомості щодо осідання підробленої земної поверхні

Назва адміністративної області	Площа підробленої території, км ²	Загальна площа осідання земної поверхні, км ²	Глибина осідання, м	Площа осідання на забудованій території, км ²	Загальна площа підтоплення в межах осідання, км ²
Волинська	–	26,2	2,5-3,0	–	–
Дніпропетровська	720,83	156,11	0,7-5,0	22,35	46,56
Донецька	2 417,0	2 152,0	0,02-6,8	–	90,0
Івано-Франківська	1,6	0,3	0,1-2,1	0,2	0,15
Кіровоградська	–	10,0	3,0-3,5	–	–
Луганська	2 200,0	–	5,0-7,0	703,8	–
Львівська	177,0	100,0	0,01-0,4	19,5	5,0

На території Західного Донбасу сформувалась мульда зрушення земної поверхні, яка в межах заплави річки Самари затоплена і має розглядатися як водний об'єкт [17, 32]. За безпосереднього скиду шахтних вод в заплаву

утворились водойми площею понад 25 км² з мінералізацією води 5800-7900 мг/дм³ [24, 26, 27].

Під впливом водовідливу шахт Східної групи в Західному Донбасі виснажені запаси прісних вод, що використовуються для господарсько-питного водопостачання. Розмір депресійної лійки у водоносному горизонті покривних бучакських відкладень становить 11×37 км з глибиною максимального водозниження 38,7 м. На площі близько 9 км² осушений четвертинний водоносний горизонт, що завдало шкоди господарсько-питному водопостачанню селищ Миколаївки, Петрівки, Катеринівки Петропавлівського району [27]. Спрацювання рівня підземних вод у межигірському водоносному горизонті призвело до повної зупинки та припинення експлуатації Самарського водозабору. За даними [26] станом на 2018 р всі експлуатаційні свердловини водозаборів Першотравенський, Світлогірський та Вербський законсервовані. В окремих свердловинах Вербського водозабору мінералізація підземних вод сягала 2703,5 мг/дм³.

Скид та акумуляція відходів вуглезбагачення шахт Західного Донбасу відбувається у хвостосховище, що розташоване в глибокому ерозійному врізі в балці Стуканова, з мінералізацією 4600-21500 мг/дм³. Під впливом інфільтрації зі хвостосховища сформувався ореол забруднення площею 1,09 км² на глибину до 25 м. Мінералізація підземних вод берекських відкладів становила 3781 мг/дм³, вміст хлоридів – 2231 мг/дм³. У підземних водах межигірських відкладів мінералізація досягла величин 3408 мг/дм³, а вміст хлоридів та нітратів склав, відповідно, 1895 та 507 мг/дм³ [26, 28].

Відпрацювання запасів неминує наблизити стадію згорання гірничих робіт. Проект закриття і ліквідації вугільного підприємства розробляється на основі нормативно-правових документів та передбачає відповіді на питання технічного, екологічного і соціально-економічного характеру [29]. Згідно «Стандарту ...» [29] технічні рішення визначаються, головним чином, за результатами гідрогеологічного прогнозу наслідків затоплення шахти в техногенно змінених умовах.

Процес згортання гірничих робіт і ліквідація вугільної шахти відбувається в умовах змінених меж водообміну, фільтраційних та ємнісних параметрів масиву, осідання земної поверхні, гідрохімічної інверсії та ін. (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Умови відновлення водообміну і рівня підземних вод при закритті шахт

Внаслідок відновлення рівня підземних вод на підробленій території формуються затоплені безстічні поверхні, а гідравлічний зв'язок між шахтними полями визначає необхідність обґрунтування гідрозахисту суміжних працюючих.

В даний час накопичено чималий досвід закриття шахт в Польщі, Бельгії, Франції, Англії, Казахстані та ін. країнах світу. У Німеччині в 2012 році припинено видобуток кам'яного вугілля на землях Саарланд, а в 2018 р закрито останнє вугледобувне підприємство в Рурському басейні (Іббенбюрен). У більшості випадків проблеми постексплуатаційного періоду пов'язані з підтопленням підроблених територій і організацією раціонального режиму довгострокового дренажування [30]. В результаті осідання денної поверхні в Рурському басейні близько 30% площі стали безстічними, а для їх осушення використовується більше 200 насосних установок, що відкачують 70 млн. м³ шахтних і 850 млн. м³ ґрунтових вод і атмосферних опадів [31].

На полях ліквідованих шахт в Кузбасі, Партизанському і Печерському басейні, Східному Донбасі триває експлуатація заглибних насосів, розміщених в шахтних стовбурах або водознижуючих свердловинах [32].

В одному з найстаріших вугледобувних регіонів України Центральному районі Донбасу (ЦРД) затоплення шахт за прогнозними оцінками [33, 34] призведе до формування підтоплених і потенційно підтоплених зон на площі, що займає більше 56% (647 км²) території. При закритті 34 шахт в Луганській області способом повного затоплення від 20 до 40% територій гірничих відводів в межах гірничопромислових районів виявилися підтопленими і заболоченими [35].

Слід зазначити, що у в умовах ведення бойових дій на Донбасі, де на тимчасово непідконтрольній українській владі території залишилося 115 зі 150 вугільних шахт України [36, 37], питання екологічної безпеки все частіше підіймається та висвітлюється в офіційних виданнях та публічному просторі за координації ОБСЄ та ЮНІСЕФ [38-40].

Окреслені вище якісні гідродинамічні зміни в гірському масиві шахтних полів та в зоні впливу на поверхні характеризуються зміною кількісних показників, а саме положенням рівня підземних вод (H , м), витратами потоку підземних вод (Q , м³/добу) та швидкістю відновлення рівня підземних вод при закритті та затопленні шахт. Достовірність прогнозування цих параметрів залежить від точності визначення фільтраційних (коефіцієнту фільтрації k_f , м/добу) та ємнісних (коефіцієнт гравітаційної μ або пружної μ^* водовіддачі) характеристик гірського масиву.

Дослідниками встановлено, що при веденні гірничих робіт з повним обваленням виробленого простору, геомеханічні процеси формують нові властивості масиву гірських порід. У зонах обвалення розвивається техногенна тріщинуватість, що призводить до зростання проникності, значного збільшення ємнісних властивостей масиву гірських порід [41, 42].

Більшість досліджень присвячено визначенню фільтраційних параметрів гірського масиву на стадії активних зрушень і формування ЗВТ.

За різними даними вони відрізаються на порядки, тобто не є універсальними і залежать від конкретних геолого-гідрогеологічних і технологічних умов. Питання трансформації фільтраційних і ємнісних характеристик відпрацьованих площ впродовж 40...60 років експлуатації вугільного родовища залишаються не визначеними.

1.2 Способи водорегулювання порушеного гірського масиву

Основний спектр проблем з водорегулювання в межах шахтних полів, що супроводжують періоди розробки родовища, затоплення і постексплуатації, можна умовно поділити на дві групи: гірничо-технологічні та гідрогеологічні (рис. 1.4). Зазначені особливості не охоплюють весь спектр гідрогеологічних проблем, що виникають на різних за гідрогеологічними умовами шахтних полях, проте є типовими для більшості.

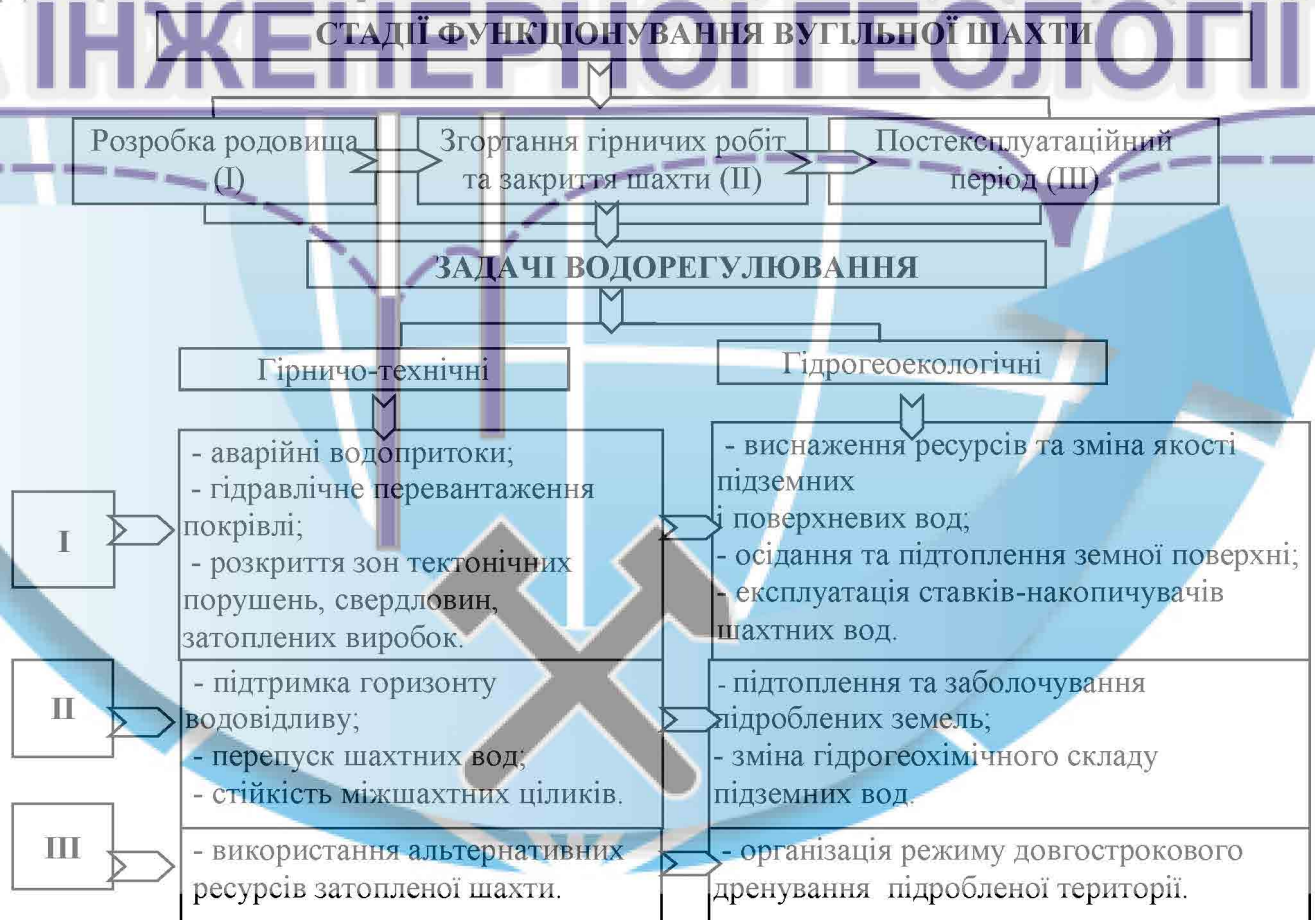


Рисунок 1.4 – Задачі водорегулювання в межах шахтних полів

Необхідність пошуку технологічних схем водорегулювання при веденні гірничих робіт в складних гідрогеологічних умовах обумовлена підвищенням собівартості видобутку і втрати запасів вугілля, скороченням темпів проходки гірничих виробок і збільшенням аварійності, зростанням техногенного навантаження на підземну і поверхневу гідросферу, що в свою чергу призводить до виснаження і забруднення водних ресурсів регіону.

За цільовим науково-технічним підходом до управління гефільтраційними процесами в межах шахтних полів слід виділити два основні напрямки: 1) обґрунтування технологічних елементів управління гідрогеомеханічними процесами для забезпечення безпеки і ефективності ведення гірничих робіт і їх згорання; 2) обґрунтування технології відновлення зон водообміну порушеної гідросфери з урахуванням фільтраційних змін в масиві гірських порід.

Відомі технічні рішення щодо зниження притоку води в шахту засновані на теоретичних і експериментальних дослідженнях Яковлева Є.О.,

Бондарця К.Л., Шагоянца С.А., Безазьяна А.В., Садовенко І.О., Пасічного В.Г., Кіпка Є.А., які апробовані в умовах Західного Донбасу, а саме створення протифільтраційних завіс і залишення екологічних ціликів, використання тампонажу та перемичок, поділ потоків.

Серед технологічних засобів боротьби з водопритоками при веденні гірничих робіт найбільш широко поширені дренажні схеми попереднього осушення водоносних порід. В умовах підвищеного водонасичення піщано-глинистих порід Підмосковного і Дніпровського вугільних басейнів попереднє осушення порід через забивні фільтри, висхідні свердловини або наскрізні фільтри є вкрай необхідним заходом забезпечення процесів очисної виїмки.

На полях ліквідованих шахт в Кузбасі, Партизанському і Печерському басейнах, Східному та Центральному Донбасі триває експлуатація заглибних насосів, розміщених в шахтних стовбурах або свердловинах [151]. Вирішення завдання щодо скорочення витрат на експлуатацію системи водовідливу

законсервованої шахти пов'язане з вдосконаленням інженерних заходів і можливістю їх оптимізації.

Параметризація геометрії і розмірів тріщин в водоносних породах, як факторів формуючих їх неоднорідну проникність, докладно обґрунтована експериментально і теоретично в роботах [175-176]. Результати цих досліджень є вихідною базою для реалізації комплексного методу тампонажу водоносних порід при будівництві та експлуатації шахт в складних гідрогеологічних умовах. Крім врахування властивостей тампонажних розчинів і масиву порід, технологія тампонування збагачена новими розробками щодо застосування гідрозриву тріщин, гідрогеомеханічного обтиснення обводнених зон тектонічного дроблення та ін.

Технології та спеціальні засоби закріплення пухких водонасичених порід (в т.ч. з пливунними властивостями) розвинені в роботах [45, 46]. Вони базуються на фізичному (заморожування) або фізико-хімічному перетворенні властивостей гірських порід з доведенням до твердого стану (струміневе закріплення пухких порід, силікатизація, парафінізація).

Гірничо-технічні способи управління водопроявами при веденні очисних робіт на відміну від дренажних схем не є обов'язковими, але містять значні резерви підвищення ефективності розробки родовищ. Сутність цих способів полягає у врахуванні гідрогеомеханічних і структурно-геологічних особливостей в системі «водоносні породи-гірничі виробки». Водопрояви розглядаються як домінуючі фактори, що ускладнюють гірничі роботи, тому оптимальність параметрів схем підготовки, систем розробки, засобів механізації обумовлена врахуванням цього фактора. Серед апробованих гірничо-технічних способів управління водопроявами відомі: порядок відпрацювання бремсбергу і похилої частини шахтного поля для гідродинамічно відкритих і закритих вугільних пластів, швидкісний режим введення в експлуатацію виїмкових стовпів, діагональні лави, чергування довгих і коротких лав та ін.

До технологічних рішень щодо відновлення зон водообміну порушеної гідросфери відносять різні способи опріснення шахтних вод, закачування стоків та системи комплексного гідрогео моніторингу.

Забруднення поверхневої гідросфери в Україні посилюється зі збільшенням об'ємів скиду стічних вод в кількості понад 20 км^3 на рік, з яких майже 6 км^3 – неочищених та недостатньо очищених. Це при тому, що питне водопостачання в державі на 80% забезпечується з поверхневих джерел.

Найбільш гостро питання раціонального водокористування виникають в гірничо-видобувних регіонах, де скиди мінералізованих шахтних і кар'єрних вод порушують гідрологічний і гідохімічний режим річкових басейнів. Так, в Дніпропетровській області щорічно відкачується близько 50 млн. м^3 шахтних вод на рік, з них 30 млн. м^3 з солевмістом 3-5 г/дм^3 , 20 млн. м^3 – 14...30 г/дм^3 солей. Води річки Самари характеризуються високим вмістом хлоридів (0,2...0,8 г/дм^3), сульфатів (0,55...1,6 г/дм^3) і сухого залишку (1,5...4,2 мг/дм^3). Кількість зважених речовин, нафтопродуктів, заліза в 1,5...4 рази перевищують гранично допустимі концентрації.

На сьогодні існує достатньо велика кількість способів опріснення шахтних вод, серед яких термічні (дистиляція, заморожування), мембранні (електродіаліз, зворотний осмос, іонообмін), гідротехнічні та ін.

Проте в гірничій практиці вони не набули широкого використання через значну капітало- та енергоємність, нестачу енергоресурсів та їх високу вартість.

Застосування електродіалізного методу для очищення стічних вод при концентрації солей 20...30 г/дм^3 вимагає великої витрати електроенергії (5...7 кВт-год/кг солі), що становить 180...250 кВт-ч/ м^3 вод. З огляду на те, що частка електроенергії становить в собівартості близько 30%, для цього методу вона більше 200 грн/ м^3 . Крім того, одержуваний при цьому концентрат необхідно випарювати і утилізувати. При упарюванні неминучі викиди шкідливих речовин в атмосферу, а при зберіганні концентрату не виключено попадання водорозчинних солей в поверхневі і ґрунтові води.

Застосування зворотного осмосу для очищення стічних вод стримується малою продуктивністю серійних установок, стійких до агресивного середовища. Наприклад, мембранна установка для очищення слабо-концентрованих вод має продуктивність всього 18 м³/добу. Але і в цьому випадку отримують концентрат, що також підлягає упарюванню.

Застосування термічних методів, заснованих на випарюванні стічних вод після їх нейтралізації та тривалого відстою в апаратах заглибного горіння або спалювання в циклонних печах з обов'язковим доочищенням вихідних газів, вимагає величезної кількості газу (75...125 м³ газу/м³ стічних вод). При цьому відбувається значний викид шкідливих речовин в атмосферу і утворення сухих залишків солей, поховання яких в бетоновані могильники екологічно небезпечно, особливо в умовах високого залягання рівня ґрунтових вод.

У світовій практиці активно використовується закачування забруднених вод у породи-колектори глибоких горизонтів земної кори, тобто підземне поховання промислових стоків.

Підземне поховання стоків (ППС) започатковане на нафтопромислах Росії і США на початку минулого століття. Високо мінералізовані пластові води, добуті разом з нафтою, закачуються в непродуктивні і заводнені свердловини.

Підземне поховання стічних вод отримало найбільше поширення в США. Крім кількох десятків тисяч нагнітальних свердловин нафтової промисловості, організовані полігони підземного захоронення стічних вод інших галузей. Кількість таких свердловин з 35 (1963 р) досягла 705 (1997 р). Колекторами для поховання забруднених вод є в основному осадові породи (піски, пісковики, вапняки і доломіти). За глибиною поглинаючі свердловини розподіляються так: до 305 м – 6%, від 305 до 710 м – 19%; від 710 до 1420 м – 26%, від 1420 до 2130 м – 34%, від 2130 до 4260 м – 14%, понад 4260 м – 1% [46].

Підземне поховання стічних вод широко поширене в Німеччині, Великобританії, Франції, Канаді, Японії.

У Німеччині налічується кілька десятків полігонів підземного захоронення стічних вод підприємств калійної, хімічної, нафтової і газової промисловості. М. Buser [47] на прикладі чотирьох об'єктів представив науково-технічну базу і організаційну структуру утилізації токсичних відходів. Закачування проводиться в карбонатні і теригенні породи на глибину до 1100 м і більше. Інтенсивність закачування становить 120-4800 м³/доб на свердловину з гирловим тиском 1,0-2,0 МПа.

У Великобританії в районі Уйтчарча промислові стічні води закачуються вже протягом 60 років у відкладення крейдяного віку.

У Франції перша поглинальна свердловина пробурена в 1970 р на заводі «Грандшої». Вода об'ємом 1100 м³/доб при гирловому тиску 1,0 МПа закачується в юрські вапняки в інтервалі 1950-1980 м. Дослідження Р. Verest та ін. [179] присвячені похованню відходів у відпрацьованих соляних шахтах.

В Японії здійснюється підземне поховання багатьох різновидів промислових і господарсько-побутових стічних вод. Так, на одному з мідних рудників протягом багатьох років ведеться закачування кислих дренажних вод у 150 свердловин, пробурених з гірничих виробок в товщі андезитів, що підстилаються пісковиками. Інтенсивність поглинання становить 13 тис. м³/доб.

В Україні існує як позитивний, так і негативний досвід поховання рідких відходів. На Первомайському хімічному заводі в Харківській області з 1974 р ведеться підземне захоронення стоків хлорорганічного виробництва в триасові пісковики, що залягають на глибині 1650-1780 м, і містять пластові води з мінералізацією 140 г/дм³. Поглинаючий горизонт перекривається товщею глинистих і піщаних пластів юрського, крейдяного, палеогенового віку, а підстилається пермськими глинами. Щорічно на полігоні закачується 1,2-1,4 млн. м³ стічних вод.

На Шебелинському газовому родовищі з 1978 р періодично ведеться закачування стічних вод в ніжньотріасовий горизонт на глибину 880-1000 м.

Серед багатьох позитивних прикладів захоронення рідинних промислових стоків є й негативні, серед яких прорив у водоносні горизонти питних вод промислових стоків Горлівського хімічного заводу. Закачування стічних вод Рубіжанського хімічного комбінату (Луганщина) у пісковики середнього карбону в Краснопольській купольній структурі призвело до забруднення водоносних горизонтів, які використовуються для водопостачання. Через існуючу гідродинамічно відкриту систему розривних порушень промстоки витіснені до поверхні напірними підземними водами.

Отже підземне поховання забруднених вод є складною комплексною проблемою, що включає питання геолого-гідрологічного, технологічного, економічного та екологічного характеру.

Ведення гірничих робіт та їх згортання в складних гідрологічних умовах має супроводжуватися регулярним вдосконаленням і розвитком заходів водорегулювання та відновлення зон водообміну порушеної гідросфери з врахуванням фільтраційних змін в масиві гірських порід.

1.3 Методи прогнозування гідродинамічних змін

Вхідними даними для розрахунку величин притоків води в шахту є відомості про гідрологічні характеристики водоносних горизонтів, що обводнюють гірничі виробки, а також інформація про гірничо-технічні умови роботи останніх в якості дрен.

Гідрологічні характеристики включають потужність водоносних горизонтів (m), величину напору (H), коефіцієнт фільтрації (k), водовіддачу (μ), коефіцієнти рівне- (a_p) або п'єзопровідності (a_n), режим фільтрації (сталий чи неусталений), вид руху підземних вод (напірний чи безнапірний) і граничні умови.

Гірничо-технічні умови роботи дрен містять відомості про їх просторове положення в водоносному горизонті (вертикальні, горизонтальні,

похилі), ступінь гідродинамічної досконалості, швидкість просування забою або величину видобутку.

Вибір методів гідрогеологічного прогнозу визначається постановкою задач дослідження і залежить від ступеня вивченості родовища, складності техногенного режиму підземних вод. У практиці гідрогеологічного прогнозування застосовують балансовий метод, метод аналогії, статистичний і гідродинамічний [6, 49].

Балансовий метод характеризується обмеженим застосуванням для прогнозу гідродинамічного режиму підземних вод при експлуатації родовищ корисних копалин. Зокрема, він дозволяє прогнозувати водопріток до узагальненої системи гірничих виробок, що розкривають водоносний комплекс. Використання методу можливе за наявності інформації про кількісні характеристики підземного і поверхневого стоків, а також даних про інтенсивність живлення підземних вод. Надійність оцінок цих параметрів, як правило, проблематична, що знижує ефективність методу.

Різноманітні методи *гідрогеологічної аналогії* (за коефіцієнтами водозбагачення і фільтрації, питомим водопритокком, зниженням та ін.) використовують на початковій стадії проектування для орієнтовних оцінок водопритоків в шахту або при оперативному прогнозуванні водопритоку до окремих виробок, коли накопичено достатню кількість статистичних даних щодо відпрацювання конкретного шахтного поля. Вперше метод застосований на вугільних родовищах Донбасу (Щеголев Д.І.), а в подальшому досвід його використання апробований на вугільних родовищах Кривбасу, Львівсько-Волинського та Підмосковного басейнів, Уралі та Кузбасі [50-51].

У найпростішому варіанті метод аналогії передбачає безпосереднє ототожнення прогнозованого водопритоку в гірничі виробки з фактичним на об'єкті-аналозі. На цьому принципі заснований прогноз водопритоку до шахти з використанням коефіцієнту водозбагачення (відношення об'єму відкачаної води до кількості корисних копалин, що видобувається).

При багаторічній експлуатації гірничо-видобувних підприємств, що супроводжується спостереженнями за режимом водопритоків в гірничі виробки, використовують метод аналогій у вигляді кореляційних співвідношень. Вони визначають залежність водопритоку від декількох природних і технологічних чинників. Певний ступінь надійності емпіричних залежностей визначають на основі регресійного аналізу.

Незважаючи на те, що деякі емпіричні залежності успішно застосовуються в практиці освоєння вугільних басейнів, обґрунтування цих залежностей зводиться до оцінок коефіцієнтів кореляції. Таким чином, простота цих методів не поєднується з гарантією ефективності і надійності.

Крім того, доки не існує достатньо обґрунтованих критеріїв вибору шахт-аналогів, бо обґрунтування вимагає високого ступеню вивченості гідрогеологічних умов підприємства, що проектується, та підходу до схематизації природних і гірничо-технологічних умов експлуатації шахти-аналога.

Статистичні методи за спрямованістю і можливостями близькі до методів аналогії, бо передбачають статистичну обробку результатів спостережень за притоками до гірничої виробки і встановлення кореляційних залежностей від природних і гірничо-технологічних факторів.

Ймовірностно-статистичний метод прогнозування водопритоків при перетині зон тектонічних порушень розроблений у ВНДІвугілля [50] на основі теореми Байєса. У Донецькому басейні використовують ймовірності геологічних ознак, отримані в результаті статистичної обробки матеріалів щодо притоків води з зон тектонічних порушень. В якості ознак розглядаються тип тріщиної структури, ступінь літифікації за марочним складом вугілля, літологічна приналежність, глибина розробки.

На основі статистичного аналізу результатів моніторингу затоплення 26 шахт Кузбасу отримана емпірична залежність для розрахунку часу відновлення рівня підземних вод. Час затоплення прямо пропорційний

об'єму питомої гірської маси і обернено пропорційний середньорічному водопритоку в шахту в останній період експлуатації

$$t_i = 0,0783 K_z \frac{V_{птгм}}{Q_3},$$

де t_i – час затоплення, місяці; $K_z = H_{1i}/H_{1cp}$ (при $H_{cp} = 205$ м); $V_{птгм} = V_{гм}/H$ – об'єм питомої гірської маси в м³ на 1 погонний метр глибини шахти; $V_{гм}$ – об'єм вилученої гірської маси; H – глибина гірничих робіт, м; Q_3 – зафіксований середньорічний водовідлив перед зупинкою видобутку, м³/год; 0,0783 – узагальнений емпіричний коефіцієнт.

Методи аналогії, статистичні та балансові дозволяють вирішити лише окремі питання щодо прогнозу водопритоків до гірничих виробок, але не дають можливості оцінити зміни рівневого режиму підземних вод, врахувати взаємодію гірничих виробок з дренажними спорудами, поверхневими водотоками та ін. Отже, повний прогноз техногенного режиму підземних вод не можливий на основі цієї групи методів.

Універсальним слід вважати *гідродинамічний метод*, який базується на рішенні диференціальних рівнянь, що представляють математичну модель розглянутого гідрогеологічного процесу. Практична реалізація гідродинамічного методу заснована на використанні кінцевих аналітичних залежностей для аналізу типових схем-моделей або на застосуванні математичного моделювання для розв'язання диференціальних рівнянь фільтрації.

Головною особливістю аналітичних методів є використання розрахункових залежностей, що містять спеціальні функції, інтеграли і ряди. Аналітичні розрахункові методи дають можливість розраховувати притоки води в гірничі виробки і дренажні споруди, а також прогнозувати зміну рівня підземних вод в процесі розробки родовищ. Їх застосування вимагає приведення реальної гідродинамічної обстановки до однієї з розрахункових схем, що мають стандартне рішення. Прийнята схема повинна в спрощеному вигляді відображати основні закономірності природних умов,

що досягається заміною криволінійних меж області фільтрації прямолінійними, приведенням неоднорідних товщ до однорідних, просторових потоків до двовірних або одновірних і т.д.

Використання аналітичних методів виправдано для попередньої оцінки недостатньо вивчених об'єктів, а також у простих гідрогеологічних умовах, бо аналітичні залежності враховують лише обмежений комплекс факторів, що визначають закономірності техногенного режиму.

При закритті шахт та затопленні гірничих виробок в першу чергу розраховують швидкість і час відновлення рівня підземних вод, площі їх можливого виходу на поверхню і підтоплення підроблених територій, величини водопритоків на горизонтах відкачки та перетікання до шахт, суміжних з затоплюваними.

Тривалість затоплення шахти залежить від ємнісних характеристик природно-техногенного комплексу і об'єму води, що витрачається на насичення здренованих тріщинуватих масивів і відновлення пружних запасів

водоносних порід. Рядом досліджень [52-53] доведено переважаючий вплив коефіцієнта нестачі пружного водонасичення на швидкість відновлення рівня підземних вод. Аналітичні оцінки опосередковано враховують ємнісні параметри шляхом використання коефіцієнту пористості (K_n) або заповнення (K_3). Він характеризує техногенну пористість підробленого масиву і виробленого простору і дорівнює відношенню техногенних порожнеч і тріщин підробленої товщі до об'єму видобутої гірничої маси.

Значення коефіцієнта пористості (заповнення) може прийматися на основі аналізу фактичних даних затоплення і відкачування води з шахти-аналогу [54-55]:

$$K_n = \frac{V_e}{V_{zn}} = \frac{Qt}{V_{zn}} \quad (1.1)$$

де V_e – об'єм підземних вод, що надійшов в гірничі виробки при затопленні шахти-аналогу; V_{zn} – сумарний об'єм гірської породи, вилучений за період

експлуатації шахти-аналога; Q – середній водоприток підземних вод в гірничі виробки за час t .

У разі відсутності режимних спостережень на шахтах-аналогах і при наявності даних про осідання земної поверхні в районі конкретної шахти коефіцієнт техногенної пустотності (заповнення) може бути розрахований за залежністю виду [54]

$$K_n = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\eta_i F_i}{m_i}}{n \sum_{i=1}^n F_i} \quad (1.2)$$

де η_i та m_i – величина осідання земної поверхні і потужність вийнятого пласта i -ої ділянки, F_i – площа i -ї ділянки, n – кількість розрахункових ділянок.

При відсутності фактичних даних про осідання земної поверхні можна використовувати наступну залежність:

$$K_n = 1 - a \cdot \cos \alpha, \quad (1.3)$$

де a – емпіричний коефіцієнт, що дорівнює 0,6...0,85; α – кут падіння пласта.

Відповідно, час затоплення t визначають як

$$t = \frac{K_n V_{zn}}{Q} \quad (1.4)$$

Коефіцієнт пустотності залежить від гірничо-геологічних умов та параметрів відпрацювання і для шахт Донбасу оцінюється величинами від 0,2 до 0,8 [54, 55]. Для орієнтовних оцінок режиму затоплення гірничих виробок Норватовим Ю.О. рекомендується застосовувати значення K_n близько 0,2...0,3.

Проте в сучасних умовах ЦРД розрахункові коефіцієнти заповнення відрізняються від фактичних, а помилки при визначенні прогнозного часу затоплення шахт з використанням усереднених значень K_n досягають 50% і більше [56, 57]. Відмінність розрахункових і фактичних значень коефіцієнтів

заповнення зафіксовано і для групи шахт Торезо-Сніжнянського, Донецько-Макіївського і Кадіївсько-Лутугинського районів.

Використання наведених вище залежностей для оцінки часу затоплення Дігтярського і Левіхінського рудників Уралу також призводить до хибних прогнозів [58-59].

Формулу (1.11) можна використовувати при виконанні умови:

$$W \cdot \beta \cdot \Delta H \leq 0,5V_{zn} \cdot K_n, \quad (1.5)$$

де W – об'єм порід техногенного комплексу; β – коефіцієнт пружної ємності тріщинуватого водонасиченого масиву; ΔH – підвищення напорів в техногенному комплексі при затопленні шахти до підшови покривних відкладень.

Якщо умова (1.5) не виконується, то тривалість періоду затоплення може бути визначена з урахуванням пружної ємності масиву за формулою

$$t = \frac{K_n \cdot V_{zn} + 0,5W \cdot \beta \cdot \Delta H}{Q}. \quad (1.6)$$

Застосування наведених аналітичних рішень обмежується умовою попередньої оцінки притоку в затоплювані гірничі виробки протягом розрахункового інтервалу, а також використанням планової фільтраційної однорідності водоносних і слабопроникних порід, неможливістю врахування додаткових граничних умов.

Найбільш досконалим апаратом фільтраційних розрахунків в рамках гідродинамічного методу є рішення диференціальних рівнянь фільтрації чисельними методами або на електричних моделях.

У другій половині ХХ століття широко застосовувались аналогові моделі з використанням електропровідного паперу. Їх теоретичним підґрунтям була подібність між стаціонарним фільтраційним потоком та електричним струмом. Метод електрогідродинамічних аналогій (метод ЕГДА) базується на математичній аналогії між рухом постійного електричного струму в електропровідному середовищі та ламінарною течією рідини у пористому середовищі. Основи теорії і практики методу ЕГДА були

розроблені М. Павловським. Проте аналогові моделі поступово замінені більш сучасними комп'ютерними моделями, що використовуються на окремих персональних ЕОМ.

Переваги математичного моделювання при вирішенні прогнозних задач полягають в тому, що метод дозволяє отримувати повні прогнозні оцінки режиму підземних вод, ускладненого практично будь-яким комплексом факторів (фільтраційна неоднорідність водоносних пластів, складні умови на гідродинамічних межах, нестационарність і нелінійність фільтраційних процесів, різночасне введення джерел-стоків та ін.)

В умовах багатофакторності та невизначеності параметрів порушеного гірського масиву метод чисельного моделювання залишається чи не єдиним достовірним методом прогнозування гідродинамічного режиму шахтних полів.

2. ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ РЕЖИМУ ПІДЗЕМНИХ ВОД ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Територія вуглепромислового району Західного Донбасу розташована в межах Павлоградського, Петропавлівського і частково, Межівського районів Дніпропетровської області і має площу до 3320 км² (рис. 2.1).

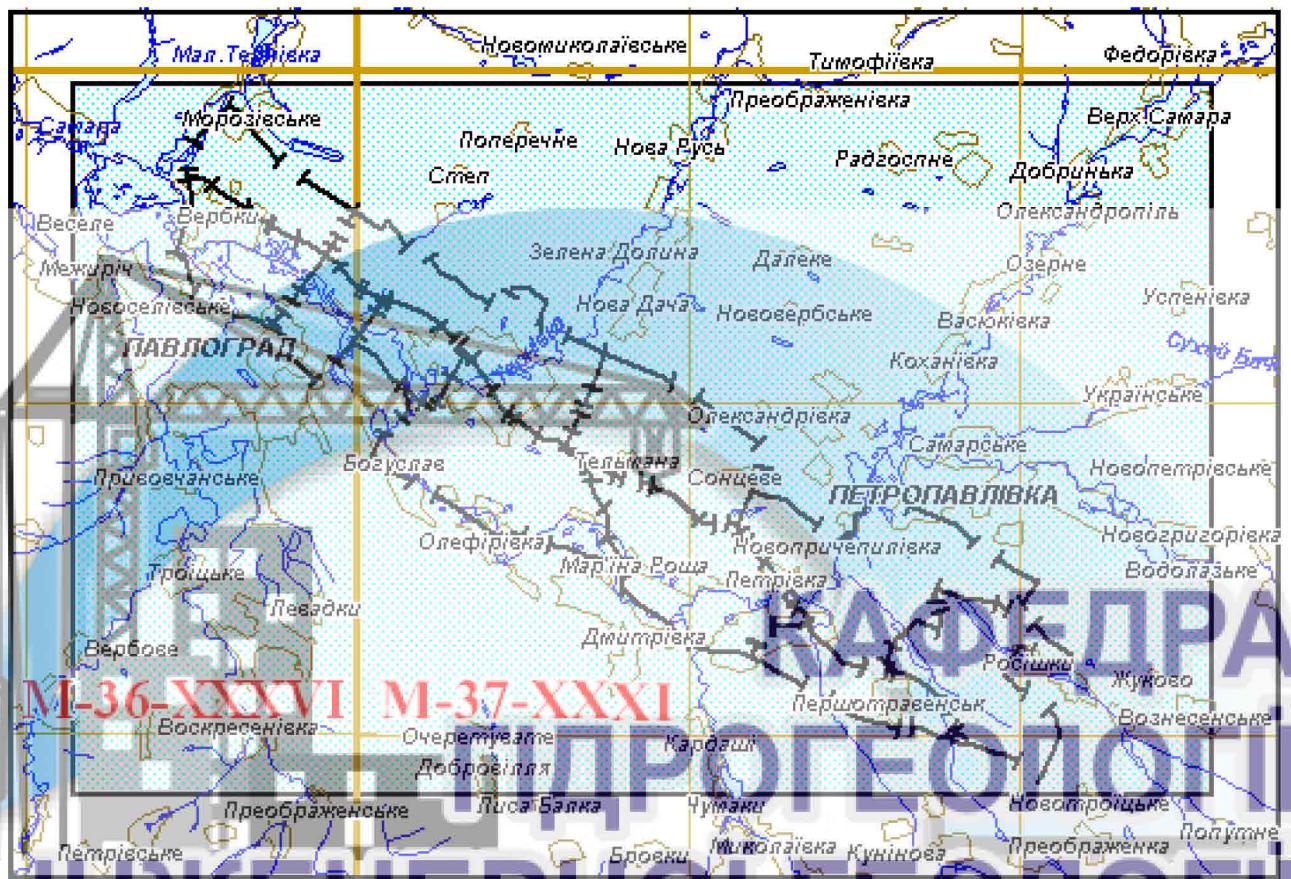


Рисунок 2.1 – Оглядова карта району досліджень

Промислове освоєння Західного Донбасу розпочато в 1953 році, де на площі близько 360 км² в Павлоградському і Петропавлівському районах Дніпропетровської області побудовано 11 вугільних шахт. Основна частина освоєних запасів кам'яного вугілля знаходиться в межах заплави і терас р. Самара на глибинах 120-360 м від земної поверхні. Шахта «Першотравнева» в 2005 році ліквідована методом «мочної» консервації.



Рисунок 2.2 – Схема розташування шахтних полів

Територія розташована в межах південної окраїни Східно-Європейської рівнини, розчленована долинами річок Самара та її притоками – Вовча, Тернівка, Бик, Кам'янка, Солона, Сухий Бичок і балками. Абсолютні позначки поверхні +60 ... +211 м, максимальні +200 ... +211 м приурочені до Вовчанського виступу Українського кристалічного щита, мінімальні +60 м – в долині р. Самара. Відносне перевищення вододілу над долинами, в середньому, складає 40-120 м.

2.1 Особливості геолого-гідрогеологічної будови вугільного родовища

В геолого-структурному відношенні район робіт приурочений до зчленування Дніпровсько-Донецької западини і Українського кристалічного масиву. Кристалічні породи архейського та протерозойського віку займають південно-західну частину району і характеризуються різною, але, переважно, незначною водозбагаченістю. Живлення водоносного горизонту відбувається

за рахунок інфільтрації атмосферних опадів в місцях виходу порід на поверхню, розвантаження в зоні зчленування кристалічного масиву з Дніпровсько-Донецькою западиною.

На кристалічних породах докембрію трансгресивно з заглиблення на північний схід залягає осадовий комплекс порід кам'яновугільної системи (турнейський, візейський та намюрський яруси). Продуктивна товща приурочена до нижньовізейських відкладів карбону. Вона представлена перешаруванням аргілітів, алевролітів, вугілля, пісковиків і вапняків. Вугільні шари робочої потужності переважно залягають серед аргілітів та алевролітів, рідше контактують з пісковиками. Водоміщуючі породи – пісковики, вугілля, вапняки складають, в середньому, 20-25% загальної потужності товщі. Потужність пісковиків сягає 40 м, вапняків і вугільних шарів до 1-2 м. Кам'яновугільні відклади характеризуються низькою водозбагаченістю, незначно підвищеною водоносністю визначається верхня частина кам'яновугільної товщі в зоні виходу водоносних порід під мезокайнозойські відклади. Максимальна водопровідність притаманна вугільним шарам, пісковикам і вапнякам, які виходять під буцацькі піски, що і визначає їх ведучу роль в обводненні гірничих виробок шахт. Водопровідність порід коливається в межах 0,01-5,0 м²/добу в південній частині району, в зоні розвитку турнейських вапняків водопровідність порід сягає 455 м²/добу.

Особливу роль в геологічній будові і гідрогеологічних умовах району грають тектонічні порушення, які є водонепроникними екранами на шляху руху підземних вод. В зонах між тектонічними порушеннями утворюються гідродинамічно закриті структури. Характерною особливістю родовища є те, що значна частина вугільних шарів, що віпрацьовуються, залягає в заплаві р. Самара і її притоків, де глибина ведення гірничих робіт складає всього 140-160 м, що створює передумови щодо збільшення водопритливу в гірничі виробки шахт.

На розмитій поверхні відкладів карбону з ерозійним перериванням і невеликою кутовою неузгодженістю залягають відклади тріасу та юри (поля шахт ім. Героїв Космосу, «Благодатна», «Павлоградська», «Західно-Донбаська»). В нижній частині розрізу відклади представлені галечниками, конгломератами, вище – товщею перешарованих пісків, глин, пісковиків і вапняків (в межах вказаних шахтних полів в наявності лише нижня частина цих відкладів). Внаслідок частой літологічної заміщеності порід, як в плані, так і в розрізі, водозбагаченість порід тріасу та юри нерівномірна і змінюється від 0,1 до 350 м²/добу. Живлення водоносних горизонтів відбувається за рахунок перетоку вод з вищележачих порід мезокайнозою на ділянках виходу водоносних порід під буцацькі піски. Безпосереднього гідравлічного взаємозв'язку з водоносним комплексом карбону не мають, про що свідчать дані режимних спостережень у свердловинах, які розташовані в зоні ведення гірничих робіт.

Докембрійські, палеозойські і мезозойські породи перекриті відкладами палеогенової, неогенової і четвертинної систем.

Відклади палеогену мають повсюдне розповсюдження, представлені буцацькою, київською, обухівською і межигірською, а на вододілах – берекською світами. Літологічно відклади палеогену представлені різнозернистими пісками, пісковиками, мергелями і глинами, що не мають витриманого розповсюдження, за винятком пісків буцацької світи, які займають всю центральну і північну частини району. Відсутні вони лише на півдні, на зчленуванні Дніпровсько-Донецької западини і Українського кристалічного масиву.

Серед палеогенових відкладів найбільшою водозбагаченістю вирізняється буцацько-обухівський водоносний комплекс (P_{2bc+ob}). Водопровідність цього комплексу складає 120-300 м²/добу, в середньому по Західному Донбасу – 160 м²/добу. На ділянках, де води буцацьких відкладів характеризуються задовільною якістю, водоносний горизонт є основним і, часто, єдиним джерелом господарчо-питного водозабезпечення.

Значна водозбагаченість притаманна також водоносному горизонту, що приурочений до середньозернистих пісків межигірської світи (P_{3mz}). Водопровідність межигірських пісків змінюється в межах 75-500 м²/добу. Не зважаючи на високі фільтраційні властивості порід, практичне значення горизонту знижується в результаті обмеженості розповсюдження. Розвинений лише в центральній частині району в долині р. Самара простягаючись на південь вздовж долини балки Суха Чаплина. На решті території відклади межигірської світи представлені глинистими тонкозернистими кварц-глауконітовими пісками, рідше – пісковиками з низькими фільтраційними властивостями. Через це глинисті межигірські піски, як і мергелі кийвської світи (P_{2kv}) є умовними водотривами. На вододільних плато глинисті піски і пісковики перекриті світло-сірими пісками берекської світи (P_{3br}) з низькими фільтраційними властивостями.

Водоносні горизонти палеогену гідравлічно взаємозв'язані між собою і з кам'яновугільним водоносним комплексом в місцях, де водоносні породи карбону мають вихід під обводнені піски бучацької світи. Ускладнений гідравлічний взаємозв'язок відзначено між берекським і нижезалягаючими водоносними горизонтами на ділянках, де в ґрунтах берекських пісків залягають слабопроникні межигірські піски і кийвські (P_{2kv}) мергелі та глини.

Основним джерелом живлення є атмосферні опади, а також перетікання вод з боку Українського кристалічного масиву.

Відклади неогену (новопетровська світа – N_{1np}) розвинені в межах вододільних плато, їх схилів, схилів річкових долин, представлені тонкозернистими кварцовими пісками і щільними глинами. Водоносні піски мають незначну водозбагаченість. Водоносний горизонт має прямий гідравлічний взаємозв'язок з нижчезалягаючим берекським, його живлення здійснюється за рахунок атмосферних опадів, розвантаження – в яружно-балочну мережу.

Відклади неоплейстоцену-голоцену ($P-H$) розвинені повсюди. На вододілах вони представлені суглинками та глинами, в річкових долинах –

різномірними алювіальними пісками, до яких приурочено значний по водозбагаченості водоносний горизонт; водопровідність відкладів складає 120-200 м²/добу, досягає в межиріччі Самара-Вовча 600м²/добу. Горизонт є одним з основних для господарчо-питного водозабезпечення. Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок атмосферних опадів, в період паводку – за рахунок поверхневих вод з р. Самара і Вовча, а також підтікання вод з боку Українського кристалічного масиву. Зв'язок з нижчележачими водоносними горизонтами здійснюється шляхом перетікання вод через слабопроникні відклади межигірської світи.

Типовий гідрогеологічний розріз, характерний для умов Західного Донбасу, представлений на рис. 2.3.

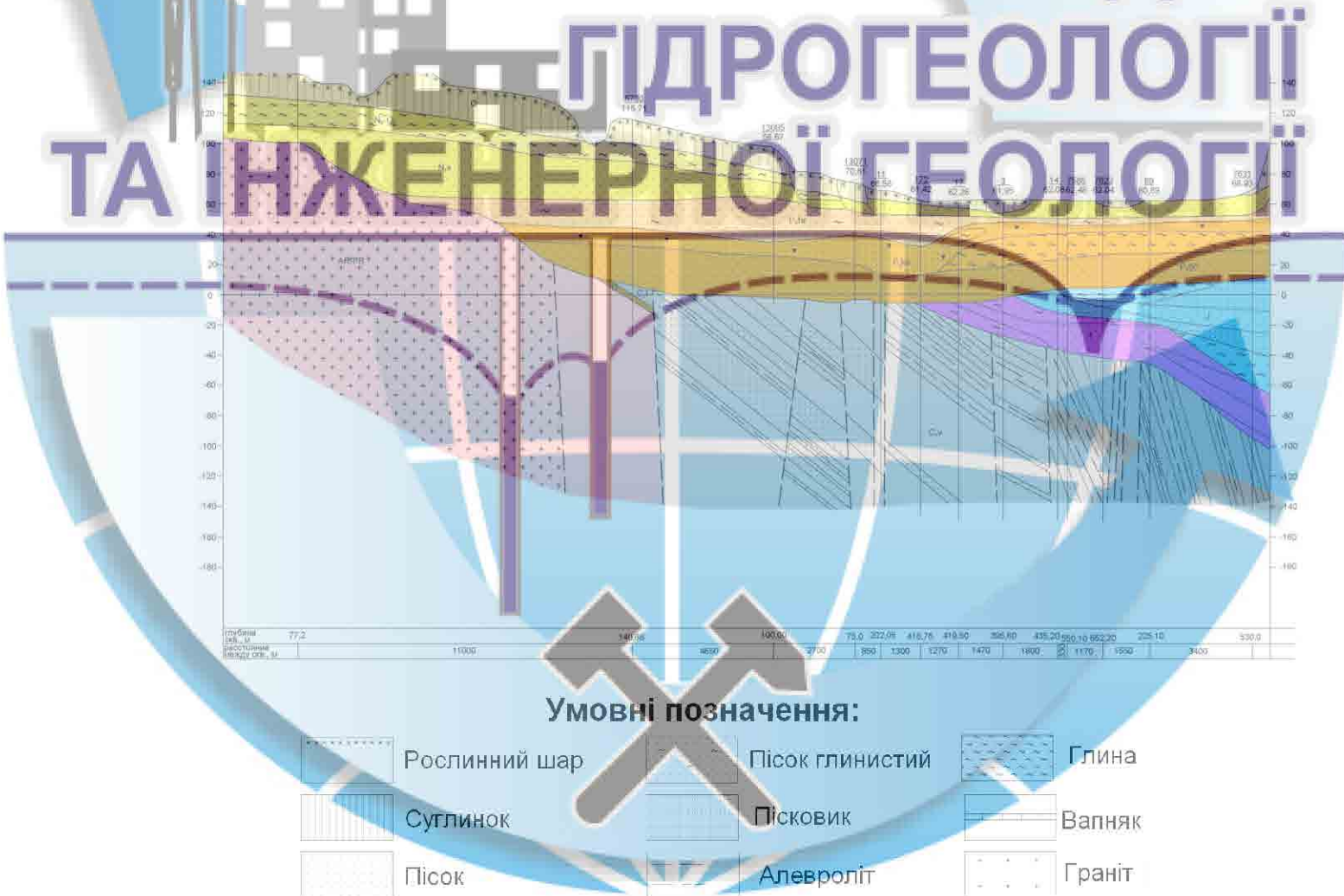


Рис. 2.3 Типовий геологічний розріз району Західного Донбасу

З вище наведеного можна зробити висновок, що гідрогеологічні умови Західного Донбасу є достатньо складними. Похилі карбонові та горизонтально перекриваючі їх мезокайнозойські відклади утворюють складну систему поверхово-розповсюджених водоносних горизонтів та комплексів, число яких на окремих ділянках сягає 10 і більше. Загальна потужність обводнених порід змінюється від 20–60 м до сотень метрів, збільшуючись з заглибленням до осі Дніпровсько-Донецької западини. В водоносних горизонтах кайнозою залягають прісні і слабомінералізовані води (1-3 г/дм³) і формується до 90% їх експлуатаційних запасів, горизонти нижчележачих відкладів відзначаються практично повсюдним розповсюдженням мінералізованих, солоних вод та розсолів. Внаслідок відсутності досконалих водотривів водоносні горизонти мезокайнозою мають гідравлічний зв'язок. В свою чергу, обводнена товща мезокайнозойських порід гідравлічно пов'язана з водоносним комплексом кам'яновугільних відкладів і знаходиться в безперервній взаємодії, яке проявляється передусім в перетіканні підземних вод одного водоносного комплексу в інший. Це підтверджується близьким положенням п'єзометричних рівнів, загальним направленням потоку різних горизонтів з поступовими змінами хімічного складу вод з глибиною.

В природних умовах гідродинамічний режим в регіональному плані характеризується висхідним напрямом підземних потоків від зон живлення і транзиту до зон розвантаження, завинятком ділянок річкових заплав (області живлення перших від поверхні водоносних горизонтів). В порушених умовах переважає низхідний напрям підземних потоків.

2.2 Основні фактори обводнення гірничих виробок шахт

Серед *природних чинників*, що визначають ступінь обводнення родовищ виділяють: а) атмосферні опади і повені, які обумовлюють збільшення водопритоків; б) постійний зв'язок підземних вод з поверхневими водотоками і водоймами, що також призводить до збільшення водопритоку та ускладнення водовідведення; в) рельєф місцевості (забезпечує інтенсивність дренажності: чим більша глибина врізу, тим більша кількість водоносних горизонтів перетинається, взаємопов'язується і дрениється); г) потужність і склад покривних слабопроникних товщ (суглинки, глини); д) геолого-структурна будова родовища, згідно якій корінні породи бувають відкриті (з виходом на поверхню) і закриті; е) літологічний склад водовміщуючих порід і зміна водопроникності порід з глибиною; ж) тектоніка району і форми древнього похованого рельєфу.

Проте численними дослідженнями встановлено, що для умов Західного Донбасу геолого-структурний фактор є провідним у формуванні природної та техногенної гідродинамічної обстановки. Виходячи з цього, вугільні шахти поділяють на два основних гідродинамічних типа (рис. 2.4).

Перший – гідродинамічно відкритий, коли водоносні горизонти кам'яновугільних порід, що дрениються гірничими виробками, мають інтенсивний гідродинамічний зв'язок з поверхневими і атмосферними водами (рис. 2.4, а) або ж з покривними відкладами мезо-кайнозою (рис. 2.4, б). Найбільш помітно виражений цей зв'язок при розташуванні гірничих виробок на високих відмітках в зоні активного водообміну, водопріток в які на 30-40% залежить від сезонних коливань.

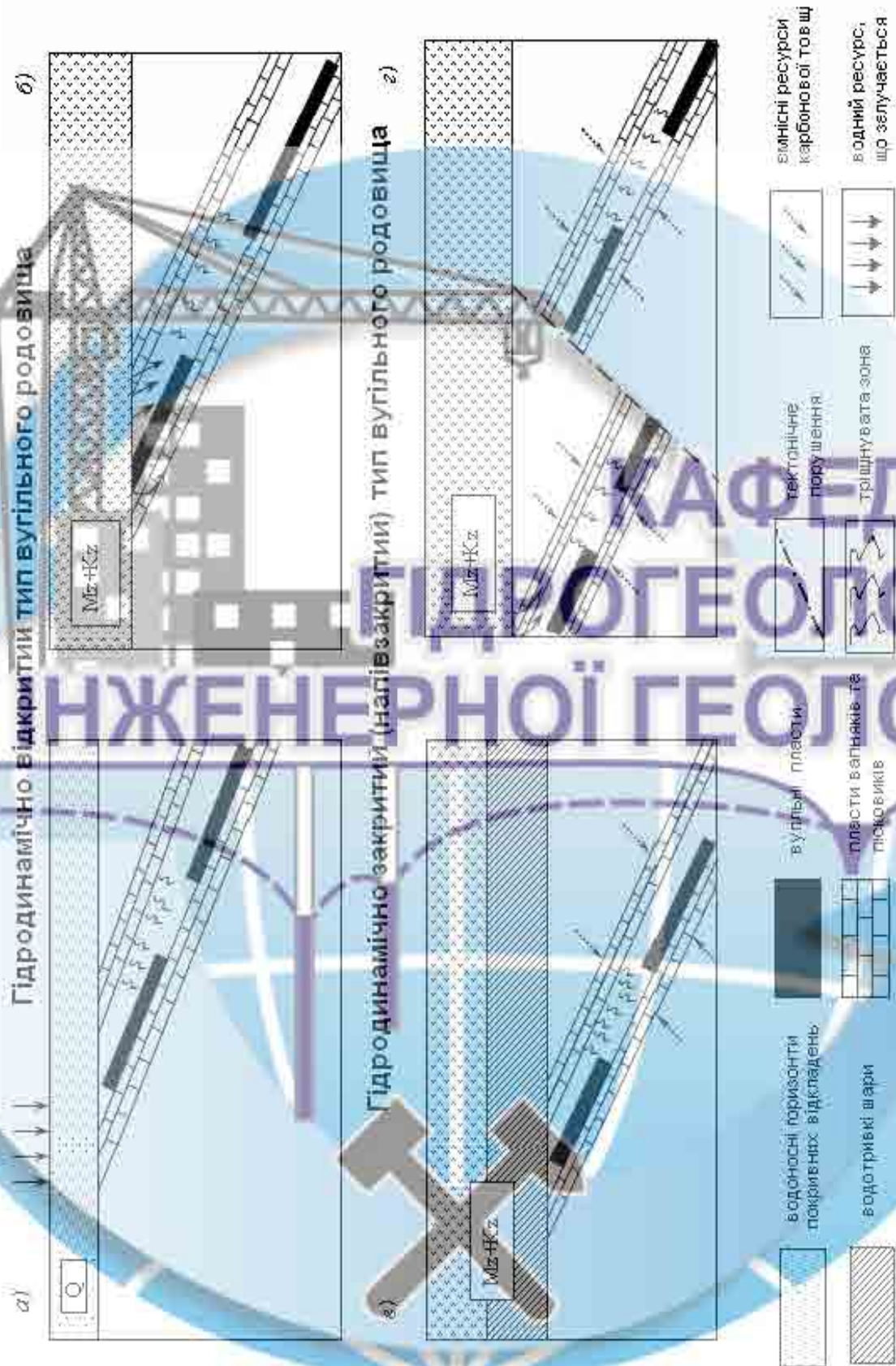


Рис. 2.4 Типи родовищ за геолого-структурним фактором

У формуванні водопритоків в такі виробки крім ємнісних запасів велику роль відіграють залучені ресурси за рахунок посилення інфільтрації атмосферних опадів і підтягування поверхневих вод, а також дренажу водонесних горизонтів покривних відкладень.

В цьому випадку водоприток визначають за кореляційною залежністю, аналогічною рівнянню плаского потоку

$$Q = a_0 + a_1 \frac{BS}{L},$$

де a_0 - початковий член рівняння, який відповідає притоку, що формується за рахунок дренажу покривлі, м³/добу; a_1 - коефіцієнт, що характеризує середню водопровідність вугільного пласта на ділянці від зони його виходу до фронту гірничих робіт, м³/добу; B - ширина фронту гірничих робіт, м; S - зниження рівня підземних вод продуктивної товщі від зони виходу вугільного пласта до фронту гірничих робіт, м; L - відстань від межі безпечного ведення гірничих робіт до виходу вугільного пласта під покривні відкладення.

Таким чином, дослідниками встановлено, що основним провідником води в шахтах гідрогеологічно відкритого типу є вугільні пласти, що відпрацьовуються.

Другий – гідродинамічно закритий тип – характеризується відсутністю вираженого гідродинамічного зв'язку водонесних горизонтів кам'яновугільних порід з водонесними горизонтами покривних відкладень. Гідравлічний зв'язок ускладнений через перекриття їх слабопроникними і водотривкими товщами (рис. 2.4, в) або внаслідок відсутності виходів розроблюваних вугільних пластів під обводнені покривні відкладення в межах гідродинамічно відкритих районів (рис. 2.4, з). Місцеве живлення водонесних горизонтів продуктивної товщі і зв'язок з поверхневими водами практично відсутні. Водоприток в шахти формується в основному за рахунок ємнісних запасів водонесних горизонтів кам'яновугільних порід, що характеризуються невеликими величинами і незначним їх зростанням в процесі експлуатації шахт.

Притоки Q (м³/добу) у виробки тісно корелюють з продуктивністю видобутку шахтопласту P (т/добу) і площею очисних робіт F (м²):

$$Q = a_0 + a_1P$$

$$Q = a_0 + a_2F,$$

де a_0 - початковий член рівняння, що показує середню величину припливу в капітальні та підготовчі виробки, a_1 - коефіцієнт обводнення, m^3/m ; a_2 - водопровідність тріщинуватої зони.

Розривні тектонічні порушення в переважній більшості випадків є непроникними екранами на шляху руху підземних вод до гірничих виробок. В цьому випадку тектонічні порушення через низьку проникність формують граничні умови II роду ($Q = const, Q=0$). В зонах між тектонічними порушеннями або перекритих від виходу під покривні відклади утворюються гідравлічно закриті структури, водоприпливи незначні і формуються за рахунок природних запасів водоносного комплексу карбону.

Фільтраційні властивості вугленосних порід в Західному Донбасі характеризуються значною неоднорідністю, як в плані, так і в розрізі. Встановлено, що найбільшою проникністю характеризуються вугілля і шари пісковиків в області їх виходу під обводнені мезокайнозойські відклади в результаті вивітрювання. До глибини 100-120 м спостерігається швидке зниження фільтраційних властивостей. При подальшому збільшенні глибини залягання зниження проникності різко уповільнюється. Приблизно в такій же залежності знаходяться пористість та тріщинуватість. Важливу роль в формуванні проникності порід в зонах розвитку штучної тріщинуватості, що утворюється при веденні гірничих робіт, відіграють водні властивості порід. Низька ступінь метаморфізму і, переважно, глинистий склад відкладів карбону в Західному Донбасі приводить до швидкого їх розмокання і кольматації тріщин.

Серед *техногенних чинників* обводнення родовищ є розкриття гірничими виробками незатампованих свердловин або старих затоплених гірничих виробок; порядок відпрацювання пластів; спосіб і технологія розробки родовища; глибина та інтенсивність ведення гірничих робіт.

В відповідності до типу вугільних шарів, що відпрацьовуються, в Західному Донбасі виділяють:

– шахтні поля «відкритого» типу (шахти «Першотравнева», «Степова», «Ювілейна», ім. М.І. Сташкова;

– шахтні поля «напіввідкритого» типу, де вугільні шари мають гідравлічний взаємозв'язок з водами покривних відкладів в межах частини шахтного поля (шахти «Благодатна», «Павлоградська», «Тернівська», «Самарська», «Дніпровська»).

– шахтні поля «закритого» типу, в межах яких вугільні шари є «закритими» на всій площі шахтного поля (ім. Героїв Космосу, «Західно-Донбаська»).

При всій різноманітності та мінливості структурно-геологічної будови і гідрогеологічних умов вугільні шахти Західного Донбасу умовно поєднуються в дві групи: центральну – «закриту» та східну – «відкриту».

В межах *центральної групи шахт* відпрацьовуються вугільні пласти «закритого» типу, що не мають гідравлічного взаємозв'язку з водоносними горизонтами покривних відкладів у межах усієї площі шахтного поля, а також вугільні пласти «напіввідкритого» типу, що мають гідравлічний взаємозв'язок з горизонтами покривних відкладів у межах частини шахтного поля.

На шахтах із «закритими» вугільними пластами шахтні водопритоки формуються за рахунок природних запасів вод кам'яновугільних відкладів та відрізняються незначними величинами (34,0 - 78,0 м³/год). Мінералізація шахтних вод, що відкачується, висока і складає 27,2 – 35,6 г/дм³ (рис. 2.5)

Водопритоки на шахтах «напівзакритого» типу формуються за рахунок статичних запасів вод кам'яновугільних відкладів, а також часткового надходження вод з горизонтів покривних відкладів та характеризуються більш високими значеннями (230 – 453 м³/год). Мінералізація шахтних вод, що відкачуються складає 2,8 – 14,0 г/дм³.

Сумарний водовідлив на шахтах Центральної групи склав у 2019 р. 38,34 тис. м³/добу.

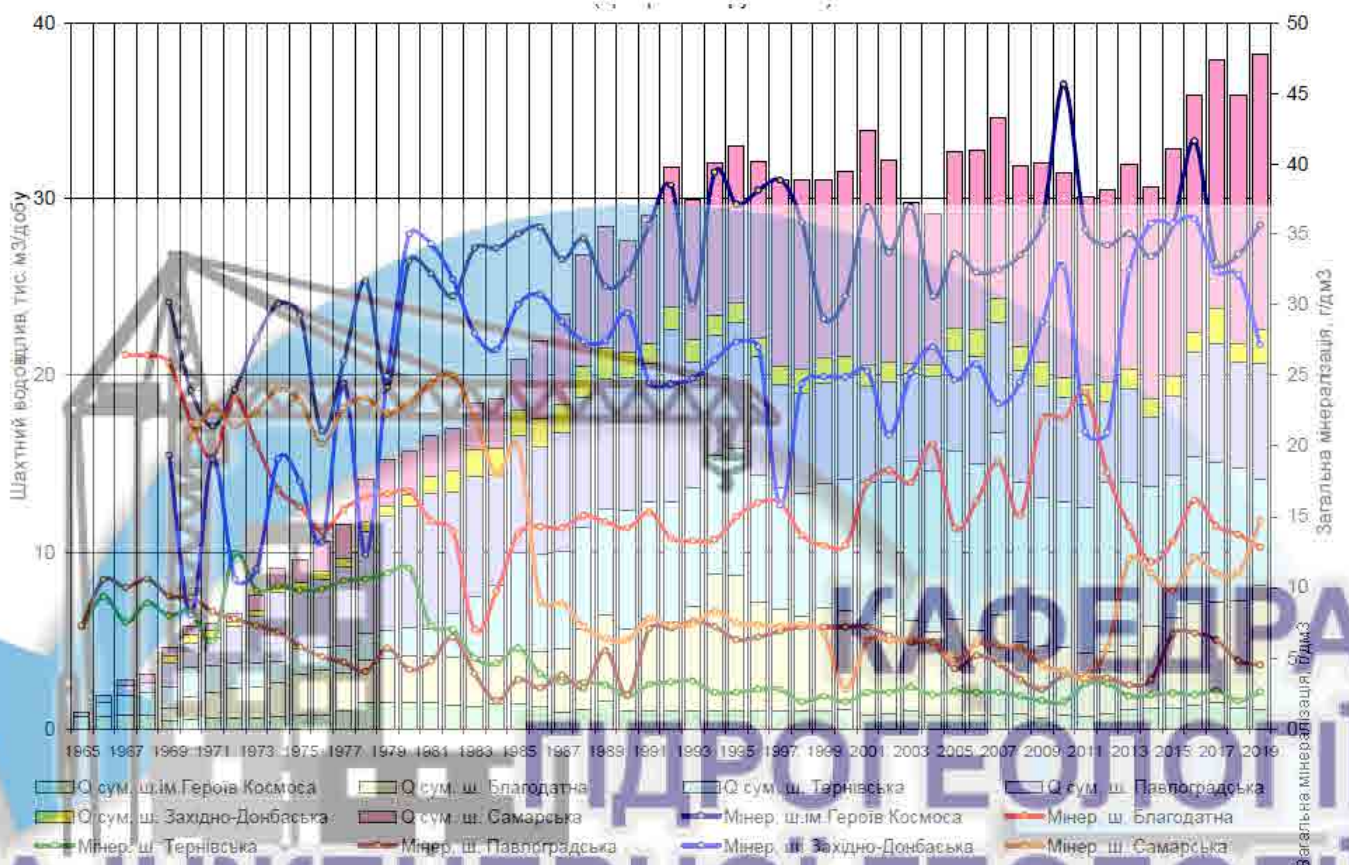


Рисунок 2.5 – Динаміка шахтного водовідливу та загальної мінералізації шахтних вод центральної групи

Площі гірничих відводів *східної групи шахт* розташовані в широтному напрямку в межах заплави р. Самара, її надзаплавних терас та схилів вододільного плато (с півдня і півночі). Це є особливістю Західного Донбасу, де до 70% запасів вугілля розробляється в річковій заплаві і в межах надзаплавних терас на невеликих глибинах 150-300 м, що створює сприятливі умови для активізації водообміну між водоносними горизонтами вугленосних та покривних відкладів при веденні гірничих робіт. Шахти *східної групи* відзначаються високими величинами загальношахтних водоприпливів – 925- 1153,9 м³/год і лише на шахті «Дніпровська» водоприплив складає близько 348,47 м³/год. Мінералізація шахтних вод змінюється від 2,69 до 21,71 г/дм³ (рис. 2.6).

Сумарний водовідлив на шахтах *східної групи* складає 80,34 тис. м³/добу.

В умовах *східної групи шахт* інтенсивному впливу шахтного водовідливу піддається весь комплекс покривних водоносних горизонтів (рис. 2.7).

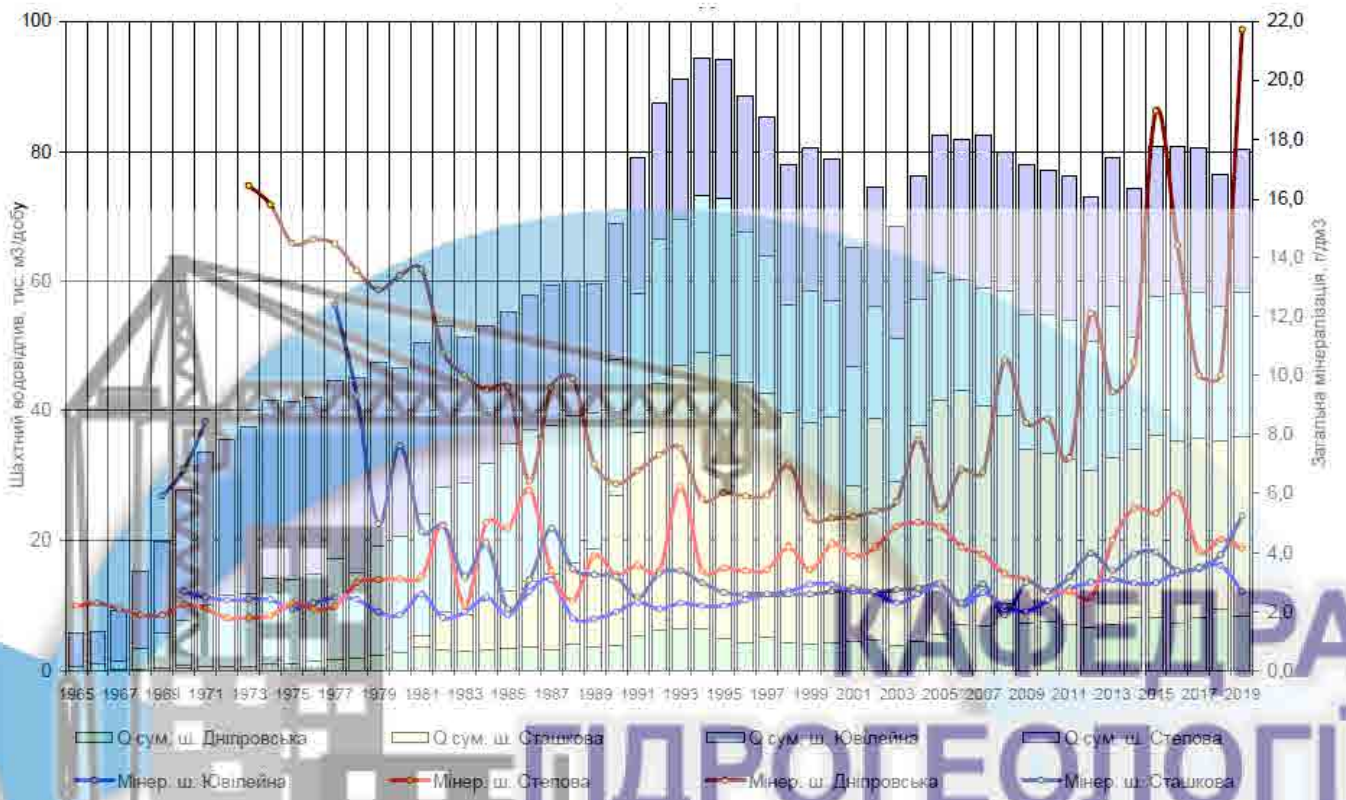


Рисунок 2.6 – Динаміка шахтного водовідливу та загальної мінералізації шахтних вод східної групи.

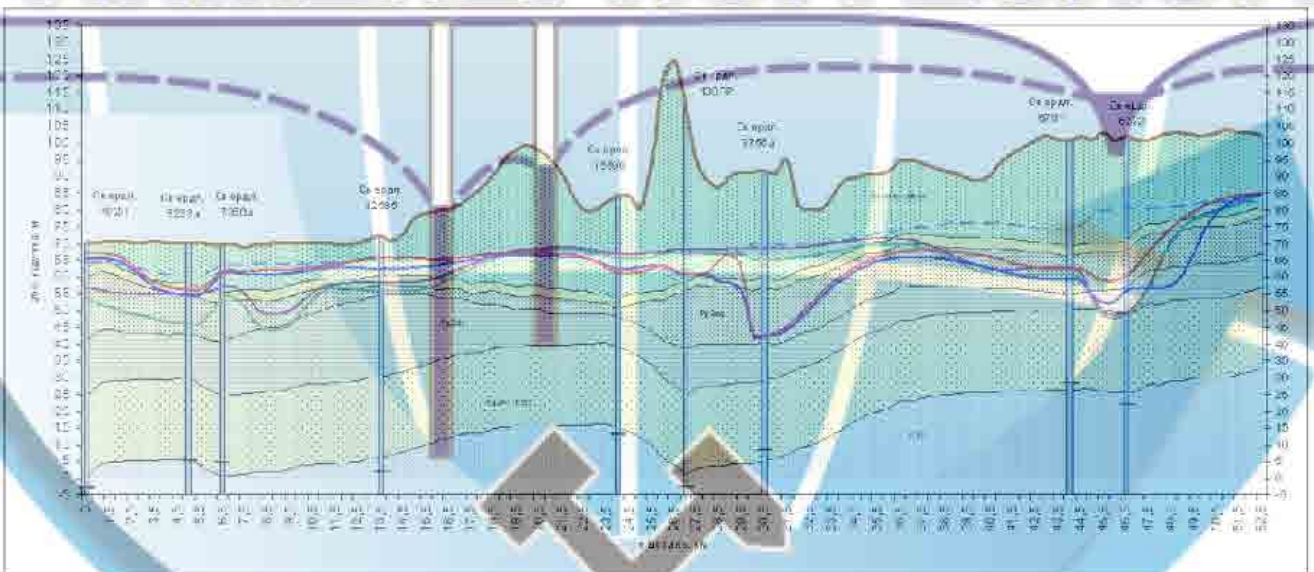


Рисунок 2.7 – Зміна рівня підземних вод покривних відкладень під впливом шахтного водовідливу (лінія розрізу 3-С)

2.3 Фільтраційні властивості вуглевміщуючої товщі

Водоносні комплекси кам'яновугільних відкладів залягають в породах нам'юрського, візейського і турнейського ярусів нижнього карбону. У гідрогеологічній будові кам'яновугільних відкладів особлива роль належить тектонічним порушенням скидного типу. Досвід експлуатації шахт свідчить, що з одного боку тектонічні порушення являються екранами на шляху підземних вод, з другого – їх каналами. Між ними створюються окремі гідравлічні структури. Коефіцієнт фільтрації порід у зоні Богданівського скиду в межах шахт Благодатна, Павлоградська та ім. Героїв Космосу має значення $0,94 \cdot 10^{-3}$ м/добу, а площина скиду є екраном на шляху руху підземних вод.

Кам'яновугільні відклади представлені перешаруванням аргілітів, алевролітів, пісковиків, вапняків та шарів вугілля. Породи анізотропні (водопроникність порід по простяганню і вхрест простягання у кілька разів більше, ніж у перпендикулярному напрямку). Літологічний склад порід і потужність ярусів карбону відрізняються між собою (табл. 2.1).

Водовмісні породи – тріщинуваті вапняки, пісковики. В межах Західного Донбасу поширені низкометаморфічні породи і їх водопроникність пов'язана як з тріщинуватістю, так і з пористістю.

Таблиця 2.1 – Середній літологічний склад товщі кам'яновугільних порід

Яруси кам'яновугільних порід	Літологічний склад товщі кам'яновугільних порід, %				Потужність, м
	Пісковик и	Алевроліт и та аргіліти	Вапняки	Вугілля	
Павлоградсько-Петропавлівський район					
Нам'юрський ярус (надвугленосна світа)	25	73	1,2	0,23	160-770
Візейський ярус (самарська вугленосна світа)	15,8-18-20,8	79-81,3-82,2	0,4-0,7	1,5-2-2,5	535-600
Візейський ярус (підвугленосна світа)	16-17	80,6-81	2,1-2,4	0,3-0,4	320-400
Західно-Павлоградський район					
Візейський ярус (самарська вугленосна світа)	26,4	70,9	0,25	2,45	320-425

З глибиною тріщинуватість і пористість порід зменшується, що підтверджено під час ведення гірничих робіт на шахтах Тернівська, Першотравнева, Степова (табл. 2.2, 2.3). Зменшення розкритості тріщин з глибиною пояснюється зімкнутістю стінок під дією геостатичного тиску.

Таблиця 2.2 – Розкритість тріщин у пісковиках та вугіллі

Інтервали глибин, м	Розкритість тріщин, мм	Число точок	Розкритість тріщин, мм	Число точок
	Пісковики		Вугілля	
200	1,7	27	1,23	111
300	1,1	10	1,03	15
400	0,75	1	0,85	12
500	0,49	2	0,71	3
600	–	–	0,59	4

Таблиця 2.3 – Середні значення величин пористості порід

Інтервал глибин, м	Середнє значення пористості, %	Число точок	Середнє значення пористості, %	Число точок
	Пісковики		Вапняки	
0-100	24	12	–	–
100-200	21,6	105	12,38	3
200-300	17,4	62	4,51	4
300-400	15,5	57	7,8	2
400-500	14,5	51	–	–
500-600	13,1	88	–	–
600-700	12,3	71	7,0	4
700-800	11,9	27	–	–
800-900	11,5	16	–	–
900-1000	10,5	10	–	–
1000-1100	9,9	19	–	–
1100-1200	9,2	5	–	–

Водозбагаченість візейських відкладів невисока й нерівномірна. Вугільні шари більш водозбагачені, ніж пісковики. Встановлено, що найбільш водозбагачена верхня тріщинувата зона потужністю до 150 м. Окрім того, підвищення водозбагаченості характерно для площі виходу кам'яновугільних порід під бучацькі відклади, а також спостерігається в долині річки Самара. Низький ступінь метаморфізму й переважно глинистий склад кам'яновугільних відкладів призводить до їх розмокання і кольматації тріщин. Через 1-2 місяця

після утворення тріщинуватості над гірничими виробками водотривкі властивості піщано-глинистої товщі повністю відновлюються. Пісковики менш водопроникні, ніж вапняки, але у зв'язку з більшою потужністю, вони містять переважну частину запасів підземних вод. Алевроліти й аргіліти – водотривкі й практично безводні породи. Слід відзначити, що вугілля і алевроліти водозбагачені у зоні вивітрювання кам'яновугільних порід й на глибині в зонах тектонічних порушень, які мають відкриті тріщини, або заповнені крупноуламкуватим матеріалом. Так, наприклад у свр. №№ 3939 (б. Космінна), 4026 (Західно-Межівська ділянка № 2), що розкривають зони порушень, коефіцієнт фільтрації досягає 0,8 м/добу. Тріщини в зонах тектонічних порушень, головним чином, заповнені глинистим матеріалом.

Коефіцієнти фільтрації кам'яновугільних відкладів змінюються від 0,0006 м/добу до 2,37 м/добу. Водопровідність порід візейського ярусу 0,057-12,73 м²/добу. Коефіцієнти фільтрації кам'яновугільних порід з глибиною зменшуються в зв'язку із зменшенням з глибиною розкритості тріщин і пористості порід. На однакових глибинах коефіцієнти фільтрації порід можуть відрізнятись на один-два порядки.

Для *підвугленосної світи візейського ярусу* характерна перевага тонкозернистих алевролітів та аргілітів із значною кількістю вапнякових шарів. Вугільні прошарки мають незначну потужність. Коефіцієнти фільтрації за даними дослідних робіт змінюються від 0,0019 м/добу до 0,0077 м/добу. Зведень про коефіцієнти фільтрації безпосередньо підвугленосної світи недостатньо, а ті, що є, характеризують тільки її верхню зону.

Загальна потужність водозбагачених порід візейського ярусу складає 15-20 % від його загальної потужності.

Серед водовмісних порід візейського ярусу найбільш витримані за потужністю й площею розповсюдження пісковики, що розташовані у зоні вугільних шарів С₁-С₄. Їх коефіцієнти фільтрації змінюються від 0,192 м/добу до 0,003 м/добу (табл. 2.4).

Самарська (вугленосна) світа візейського ярусу відрізняється високою вугленосністю і незначною потужністю вапнякових шарів. Коефіцієнти фільтрації вугленосної товщі разом з підвугленосною змінюються від 1,12 м/добу до 0,0003 м/добу, а тільки вугленосної товщі – від 1,183 м/добу до 0,003 м/добу (табл. 2.5)

Таблиця 2.4 – Коефіцієнти фільтрації пісковиків кам'яновугільної товщі за інтервалами глибин

Інтервал глибин, м	Середньоарифметична величина коефіцієнта фільтрації пісковиків, м/добу
0-200	0,192
200-400	0,047
400-600	0,012
600-800	0,003

Таблиця 2.5 – Коефіцієнти фільтрації вугленосної кам'яновугільної товщі за результатами дослідних робіт

№№ свр.	Інтервал випробування від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу	№№ свр.	Інтервал випробування від покрівлі кам'яновугільних порід, м	Кф, м/добу
3822	74,14-163,7	0,196	3690	9,06-147,31	0,067-0,084
3739	2,75-103,9	0,1-0,139	3994	14,57-573,78	0,0036
4698	7,83-83,43	0,057-0,069	5799	4,4-336,3	0,0045
3849	0-275,76	0,0045- 0,0057	963	15,2-266,1	0,039
3681	15,63-266,23	0,104-1,183	3622	2,4-88,1	0,3
15	5,8-93,45	0,086-0,108	3654	3,31-74,16	0,003
3692	12,44-385,44	0,21	3654	74,16-180,16	0,003
3944	9,71-43,41	0,46-1,511	3646	2,2-51,85	0,27-0,36
3705	5,3-160,9	0,0037- 0,0038	5792	0-494,3	0,0153
3959	11,57-59,27	0,674-1,03	1382	7,28-210,08	0,083-0,38
3706	0-162,9	0,00013	3601	5,81-72,71	0,064-0,075
3706	0-530,4	0,011- 0,0115	3601	72,71-186,36	0,012-0,015
1362	0-164,3	0,029-0,065	3787	10,7-129,6	0,0038
1466	2,41-276,217	0,024	3781	24,82-157,22	0,082-0,177
3733	13,26-489,46	0,006	3781	24,82-380,42	0,109-1,121
3610	5,57-208,67	0,041-0,072	3631	0-129,44	0,0089- 0,0098
3610	5,57-116,52	0,037-0,065	3631	0-79,04	0,0056
3746	5,87-63,87	0,0036- 0,0065	973	109,41-237,9	0,13-0,2

До відкладів самарської світи характерна промислова вугленосність. У наближених робочих шарах вугілля зосереджено біля 40 % від усіх його балансових запасів. Глибина залягання водоносного горизонту *самарської світи* від 60-70 м у південній частині і 700-1 000 м й більше – у північній. Знизу і зверху світу обрамляють вапняки, відповідно, С₁ і Д₁. Фільтраційні властивості вугілля та вміщуючих порід характеризуються значною неоднорідністю. На ділянках шахт значення коефіцієнтів фільтрації складають: шах. ім. Героїв Космосу – 0,0011-1,1 м/добу, шах. Павлоградська – 0,059-0,006 м/добу, шах. Першотравнева, шах. Степова, шах. Ювілейна – 0,067-2,61 м/добу, шах. Західно-Донбаська – 0,0035-0,21 м/добу. Зведення про водовіддачу відсутні.

Абсолютні відмітки рівня підземних вод кам'яновугільних порід на час до експлуатації вугільних шахт змінювалися від 61,4 м до 100 м і більше. Напрямок потоку – від вододілів до річки Самара. Рівень підземних вод зазнає сезонного впливу, максимальна амплітуда – 0,5-0,7 м. Встановлено, що максимальний рівень води в річках в період повені впливає на підземні води із затриманням біля одного місяця. Висота напору в середньому становила 70-100 м.

Живлення водоносного комплексу відбувається за рахунок перетоку з водоносних горизонтів, що залягають вище або нижче. Розвантаження – перетік до водоносних горизонтів, що залягають вище у долинах річок, і за рахунок водовідливу з шахт.

Обводнення виробок при веденні гірничих робіт формується, головним чином, у зонах “свіжого зрушення”. В обводненні гірничих виробок приймають участь тільки водоносні горизонти кам'яновугільних порід, що потрапляють до зони водопровідних тріщин, яка утворюється після обвалення покрівлі очисних виробок й досягає потужності $30m$ (m – потужність вугільного пласта, що розроблюється). Низький ступінь метаморфізму й переважно глинистий склад кам'яновугільних відкладів призводить до розмокання й кольматації тріщин. Через 1-2 місяця після утворення тріщинуватості водотривкі властивості порід практично відтворюються.

2.4 Динаміка затоплення гірничих виробок в Західному Донбасі

Шахта «Першотравнева» є першою, яку ліквідували в Західному Донбасі методом повного затоплення. Гірничі роботи на шахті зупинені в 1999 р., а в 2003 р. припинено шахтний водовідлив [10-11]. Режим підземних вод на полях східної групи шахт знаходиться в прямій залежності від величини шахтного водовідливу, вплив якого відчуває весь комплекс водоносних горизонтів.

Режимні спостереження на полі ліквідованої шахти ведуться по 11 свердловинах, обладнаних на весь комплекс водоносних горизонтів.

Аналіз режимних спостережень по свердловинах відомчої мережі (2004-2019 рр.) свідчить про те, що в результаті зупинки водовідливу та ліквідації шахти «Першотравнева» відновлення рівня води в кам'яновугільних відкладах відбулося на 7,0 м (св. 6378); в бучацьких – на 11,15 м (св. 6772); в межигірських і олігоцен-міоценових, відповідно, на 12,09 м (св. 14750) і 4,86 м (св. 6381). Проте повне відновлення стримується відпрацюванням пластів на ш. «Стєпова».

Графіки спостережень рівня підземних вод у спостережних свердловинах на полі закритої шахти «Першотравнева» наведені на рис. 2.8.

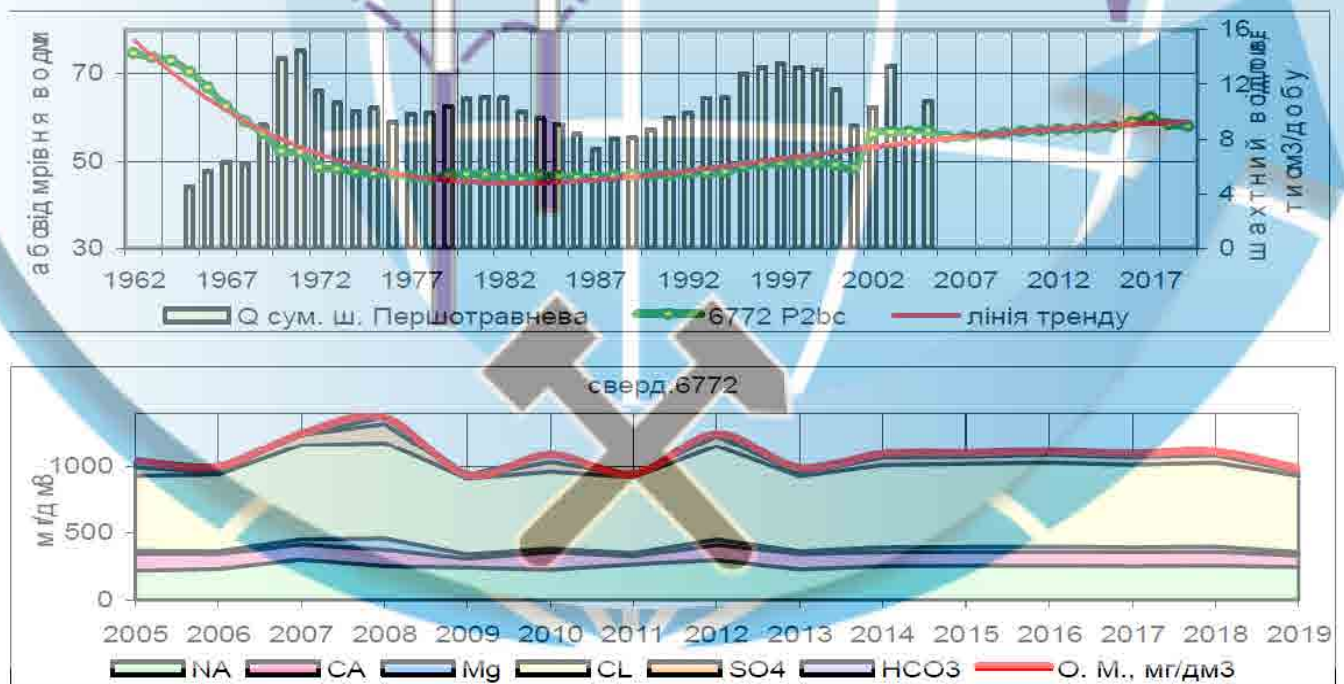


Рисунок 2.8 – Зміни рівневого та якісного складу бучацького водоносного горизонту на полі шахти «Першотравнева»

Якісний склад підземних вод в усіх водоносних горизонтах різний: мінералізація вод кам'яновугільних, бучацьких, обухівських, бучацько-обухівських, олігоцен-міоценових та алювіальних відкладів складає $1,02 \text{ г/дм}^3$; $0,98 \text{ г/дм}^3$; $0,72 \text{ г/дм}^3$; $1,88 \text{ г/дм}^3$; $2,61 \text{ г/дм}^3$ та $4,45 \text{ г/дм}^3$.

За фондовими матеріалами Ш/У «Першотравенське» побудовані графіки відновлення рівня підземних вод в технічній свердловині при затопленні поля шахти «Першотравнева» (рис. 2.9).



Рисунок 2.9 Фактичні дані відновлення рівня підземних вод в технічній свердловині при затопленні шахти «Першотравнева»

Будь-які детальні технічні дані щодо вимірів у технічній свердловині відсутні. За цих умов можна зробити лише припущення у поясненні зафіксованого підйому та подальшого зниження рівня підземних вод, а саме:

- 1) технічні помилки вимірів;
- 2) локальне скупчення повітряно-газової суміші у тушкових ділянках погашених виробок бремсбергової частини шахтного поля та подальша її фільтрація з проявом ерліфтного ефекту та заміщенням водою, яка витискає більш проникну повітряно-газову складову зі зниженням рівня.

3 МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ШАХТНИХ ПОЛІВ

3.1 Загальні положення з теорії моделювання гідродинамічних процесів

Моделювання як метод наукового пізнання застосовується в різних галузях знань і трактується досить широко. З науково-технічних позицій *моделювання* це процес відтворення на спеціально побудованих моделях складних природно-техногенних об'єктів для вивчення їх об'єктивних закономірностей [60]. Тобто моделювання є інструментом для дослідження об'єктів, передбачення наслідків техногенного впливу та альтернативних дій. Відповідно модель – це побудована система, яка певним чином відображає об'єкт дослідження і дає можливість при його вивченні отримати нову інформацію.

За матеріальним типом і засобом реалізації моделі можуть бути *фізичні, математичні та натурні*. Фізична модель подібна об'єкту за фізичною природою процесів, математична – за сукупністю і тотожністю рівнянь, що їх описують, а натурна являє собою природний аналог об'єкту дослідження.

Фізичні моделі є достатньо консервативними, а натурний аналог є практично некерованою моделлю з точки зору подібності з об'єктом дослідження, тому вони майже не використовуються для дослідження складних природно-технічних систем.

Найбільш прогностичну здатність при дослідженні гідродинамічного режиму шахтних полів мають *математичні моделі* [61], які представлені системою диференціальних або алгебраїчних рівнянь і включають їхні розв'язки, аналітичні формули або чисельні алгоритми, а також відповідні програмні засоби

За характером вираження основних зв'язків між діючими факторами математичні моделі можуть бути *стохастичними і детермінованими*. Перші припускають випадковий (функціонально не пов'язаний) характер процесів. Це обумовлює використання ймовірно-статистичного розрахункового апарату. Другі передбачають наявність функціональних зв'язків між розподілом гідродинамічних характеристик, граничними умовами, параметрами

фільтраційного (міграційного) середовища і інтенсивністю дії режимоутворюючих факторів (джерел живлення і розвантаження). Предметом розрахунків тут є рішення відповідного рівняння (системи рівнянь), що описує процес. Крім того, при розробці детермінованої моделі вдосконалюються знання про природно-технічну систему, що досліджується.

В дисертаційних дослідженнях при створенні фізико-математичних геофільтраційних моделей порушеного гірського масиву шахтних полів використовується детерміністський підхід, що відповідає механіці суцільних середовищ. Проте це не означає відмову від врахування імовірнісних властивостей досліджуваного середовища. Детерміновані моделі вже є результатом статистичного усереднення властивостей масиву гірських порід на певному рівні, що знаходить відображення у вихідних параметрах середовища.

Проте передувати створенню математичної моделі геофільтрації порушеного гірського масиву шахтного поля має *концептуальна модель*, в якій обґрунтовується набір спрощень та припущень про складну реальну систему. При цьому має бути забезпечено адекватне представлення об'єкту, включаючи всі основні функції та уникаючи другорядних деталей.

За визначенням Коносовського П.К [62] *концептуальна геофільтраційна модель* складається з переліку взаємопов'язаних понять і схем, що дозволяють описати область і об'єкт дослідження з їх властивостями і характеристиками, типовою класифікацією цих понять відповідно до законів фільтрації.

Виходячи з цього при розробці моделі обґрунтовується *методика* її створення – нормативна упорядкованість дій в конкретній діяльності, її вербальне (словесне) відображення в формі опису. В свою чергу в методиці описується *алгоритм* – кінцевий набір правил, що дозволяють чисто механічно вирішувати будь-яку конкретну задачу з деякого класу однотипних задач.

Серед математичних моделей виділяють *постійнодіючі математичні моделі*, які створюються за принципами [62]:

- зворотного зв'язку між розрахунковою схемою об'єкту та метою і задачами прогнозу;

- безперервності схематизації та адаптації моделі, що передбачає покращення її якості за рахунок додаткових натурних досліджень і удосконалення методики їх інтерпретації.

Використання математичних моделей як постійнодіючих в умовах впливу гірничих робіт дозволяє оперативно реагувати на швидку зміну гідрогеодинамічної ситуації, оцінювати водопритоки в гірничі виробки та вирішувати інженерні задачі з оптимізації заходів водорегулювання. При цьому під *оптимізацією* слід розуміти дослідження можливих станів області гідродинамічного впливу гірничо-видобувних підприємств при різних водоохоронних заходах і вибір, на основі економічних критеріїв і техніко-екологічних обмежень, найбільш ефективної програми дій.

При гідрогеодинамічному моделюванні головним чином застосовуються чисельні методи розв'язання крайових задач, а саме методи скінчених різниць (МСР), скінчених елементів (МСЕ), граничних елементів (МГЕ). Найбільш поширеним при рішенні задач гідрогеомеханіки є метод скінчених елементів, а задач геофільтрації – метод *скінчених різниць*, що заснований на дискретному представленні геофільтраційної течії в просторі і часі. Неперервне фільтраційне поле замінюється фіктивною сітковою областю, яка характеризується величинами напорів у всіх вузлових точках на ряд моментів часу. Для виведення скінчено-різницевого рівняння використовується балансовий метод [60] і для кожного елементарного блоку сіткової розбивки складається рівняння балансу, яке замінюється відповідним різницевою виразом [16].

Чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь геофільтрації реалізуються на практиці за допомогою відповідного прикладного програмного забезпечення, докладний огляд якого зроблений в роботах [61, 63]. На теперішній час найбільш поширеними серед них є програми MIFp (Україна), PMWIN (Processing Modflow for Windows, США), FLOWNET (Канада), GWFS-MTS та ModTech (Росія), FEFLOW (Німеччина) та ін. Вони призначені для моделювання стаціонарних та нестаціонарних процесів геофільтрації та міграції.

На сьогоднішній час рівень розвитку комп'ютерних технологій і техніки настільки високий, що питання технічного характеру, як обмежувального або стримуючого фактору моделювання, вже не виступають. На перший план висуваються питання коректного та повного представлення гідрогеодинамічних об'єктів на моделі. Саме на програми такого характеру орієнтується автор при моделюванні фільтраційних процесів в техногенно порушеному середовищі шахтних полів.

Не вдаючись в деталізацію процесу створення математичної моделі, слід відзначити три основних послідовних етапи.

Перший – етап *схематизації умов геофільтрації*, визначення розрахункових параметрів та характеристик об'єкту моделювання. Закінчується даний етап має точним математичним формулюванням задачі і побудовою вихідної гідрогеодинамічної схеми.

Другий етап – етап *епігнозного моделювання*, що об'єднує широкий комплекс обернених та ідентифікаційних задач. Основною метою етапу є обґрунтування коректності вихідної гідрогеодинамічної схеми та параметрів масиву, встановлення факторів формування режиму геофільтрації шляхом відтворення на моделі гідрогеодинамічної ситуації та процесів, фактичні дані про перебіг яких відомі, та зафіксовані положення рівня або витрат підземних вод. Якщо в результаті епігнозного моделювання буде встановлено, що модель недостатньо точно відображає гідрогеодинамічну обстановку, виникає необхідність в застосуванні *факторно-діапазонної оцінки*.

Факторна оцінка полягає у визначенні головних та другорядних факторів шляхом кількісного встановлення ступеню їх впливу на формування гідрогеодинамічної ситуації. *Діапазонна оцінка прийнятих припущень* полягає у вивченні впливу діапазону можливих змін геофільтраційних параметрів та крайових умов на результат розв'язку задачі. Необхідність діапазонної оцінки виникає у випадку, коли значення параметрів та крайові умови визначені недостатньо повно або в деякому діапазоні.

Третій етап – *прогнозне моделювання* починають зі створення прогнозної гідродинамічної схеми, яка визначається гідродинамічними умовами об'єкту, а також розташуванням, типом та режимом роботи штучних споруд, що проектуються (свердловини, дрени, водойми, греблі, будівлі тощо). Найчастіше метою прогнозного моделювання є вибір найбільш раціональної схеми штучної споруди або визначення оптимального режиму її роботи. Тому при прогнозному моделюванні звичайно розв'язують не одну, а серію прямих задач для отримання кількісних показників, що характеризують фільтраційний потік при різних варіантах дії штучної споруди. За результатами виконується техніко-економічне співставлення оптимальної схеми розташування та режиму дії штучних споруд.

Зі становленням та розвитком математичного моделювання геофільтраційних процесів пов'язані роботи Карплюса У., Р. де Уиста, Бера Я., Заславські Д., Ірмея С., Лукнера Л., Жернова І.С., Шестакова В.М., Крашина І.І., Мироненка В.О., Гавіч І.К., Пашковського І.С., Павловця І.М., Ситнікова А.Б., Огняника М.С., Гороховського В.М., Коносавського П.К., Кошлякова О.С., Мартинюка П.М. та ін.

Питанням вивчення і прогнозування техногенного режиму підземних вод в умовах розробки родовищ корисних копалин присвячені дослідження Норватова Ю.О., Петрової І.Б., Руминіна В.Г., Ломакіна Є.О., Мольського Є.В., Садовенка І.О., Пасічного В.Г., Рудакова Д.В., Євграшкіної Г.П., Білокопитової Н.А. та ін.

Застосування чисельного моделювання геофільтраційних процесів для оцінки швидкості затоплення шахт та водопритоків використано в роботах Подвігіної О.О., Загриценко А.М., Норватової О.І., Рибникової Л.С., Пургіної Д.В.

3.2 Обґрунтування схеми побудови математичної моделі геофільтрації шахтного поля

Створення чисельних математичних моделей геофільтрації передбачає декілька етапів, серед яких *схематизація* геолого-гідрогеологічних та гірничо-технічних умов; *ідентифікація* або *верифікація* моделі за фізичною та

динамічною аналогією; *прогнозі рішення*. Достовірність останніх визначається головним чином якістю схематизації умов та верифікації моделі.

Гідрогеологічна схематизація (ГГС) передбачає сукупність операцій, за допомогою яких реальна природно-технічна обстановка на конкретному об'єкті спрощується до рівня розрахункової моделі. При цьому не враховуються другорядні фактори, але зберігаються принципові риси досліджуваного процесу, що визначають умови функціонування інженерного об'єкту. Надійна схематизація передбачає ефективне використання накопиченої гідрогеологічної інформації. Зокрема, ГГС забезпечує сполучення між загальним гідрогеологічним аналізом, проведеним на якісному рівні, і математичною моделлю процесу. Пов'язуючи геологічну основу з її механічним описом, ГГС є найважливішою ланкою гідрогеологічних прогнозів, яка зумовлює їх точність і надійність.

Разом з тим положення ГГС на стику геологічного і механічного аналізів робить її надзвичайно складним елементом гідрогеологічних досліджень з урахуванням принципів *безперервності, адаптації та зворотного зв'язку*.

Техногенний режим підземних вод визначається спільним розвитком геомеханічних і фільтраційних процесів в породному масиві, що розкривається гірничими виробками. Максимальний дренажний ефект при розробці родовищ корисних копалин проявляється при веденні очисних робіт з управлінням покрівлею повним обваленням. Розвиток процесу зрушення над виробленим простором призводить до збільшення проникності порід покрівлі і формування зони водопровідних тріщин (ЗВТ).

Доцільність виділення ЗВТ визначається тим, що вона є конкретним елементом розрахункової гідродинамічної схеми при моделюванні техногенного геофільтраційного режиму шахтного поля і розглядається як безпосереднє продовження виробленого простору. Для водоносних пластів, що перетинає ЗВТ, границі останньої слід розглядати як досконалі контури дренажу.

Важливим методичним аспектом є обґрунтування оптимального числа розрахункових шарів і відображення шаруватої системи гірського масиву шахтного поля. Шарувата водоносна структура на моделі відображається як

середньозваженими фільтраційними параметрами в розрахункових блоках, так і параметрами взаємозв'язку між розрахунковими шарами. Визначення числа розрахункових шарів для кожної моделі виконується індивідуально з урахуванням специфіки поставлених задач, складності водоносної структури, кута падіння порід і зміщувачів тектонічних порушень, відстані між горизонтами відпрацювання вугільних пластів.

Для відображення гідродинамічної картини в межах шахтних полів Західного Донбасу карбонова товща з перешаруванням аргілітів, алевролітів, пісковиків, вапняків та вугілля схематизується у вигляді шахтопластів, потужність яких визначається висотою зони водопровідних тріщин.

Середньозважені фільтраційні параметри у розрахунковому блоці кожного розрахункового шару залежать від кута залягання шарів і співвідношення фільтраційних характеристик окремих прошарків. Система перешарування водонасичених і слабопроникних пластів замінюється розрахунковим шаром з наведеними середньозваженими параметрами. Рівень (напір) підземних вод осереднюється у межах кожного розрахункового шару.

Геофільтраційна схематизація умов формування потоку підземних вод в області впливу гірничих робіт має враховувати, що просторова структура і параметри пластів принципово відмінні в природних умовах, на етапі відпрацювання та закриття шахт.

Природна проникність карбону збільшується при обваленні покрівлі очисних виробок і зменшується в процесі злежування та ущільнення гірських порід. Тому для відображення реальних процесів, що відбуваються при веденні гірничих робіт, в розрахункових блоках моделі необхідно задавати змінні в часі: коефіцієнти фільтрації розрахункових шарів, параметри взаємозв'язку підземних вод з гірничими виробками, параметри взаємозв'язку суміжних розрахункових шарів і коефіцієнти водовіддачі. При цьому їх кількісні значення в процесі техногенної трансформації встановлюються при вирішенні *обернених ідентифікаційних задач*.

Рішення варіантного ряду ідентифікаційних або епігнозних задач в природній та порушеній гірничими роботами гідродинамічній обстановці є одним з найважливіших етапів створення моделі шахтного поля. В результаті відтворення положення рівня підземних вод та величин водопритоків уточнюються граничні умови, фільтраційні та ємнісні параметри моделі.

Остаточна оцінка результатів ідентифікації моделі шахтного поля виконується за даними функціонування об'єкту, тобто встановлюється функціональна відповідність, коли на моделі повторюють процеси, фактичні дані протікання яких були зафіксовані в натурних умовах. При створенні моделі шахтного поля відтворюється багаторічна хронологія відпрацювання вугільних пластів за періодами з характерною динамікою притоку води в шахту. Це дозволяє встановити фактори формування водопритоків по кожному з шахтопластів і кількісно оцінити зміну параметрів проникності відпрацьованого масиву в часі.

Тільки після ретельної ідентифікації моделі геофільтрації та встановлення закономірностей формування процесів та зміни параметрів порушеного масиву переходять до створення прогнозної гідродинамічної схеми. За переважною більшістю метою прогнозного моделювання є обґрунтування найбільш раціональної схеми водорегулювання в межах шахтних полів. Тому при прогнозному моделюванні розв'язують не одну, а серію прямих задач для отримання кількісних показників, що характеризують фільтраційний потік при різних варіантах управління гідродинамічним режимом з наступним техніко-економічним співставленням.

Вищенаведене можна представити у вигляді схеми створення постійно діючих математичних моделей шахтних полів і рішення прогнозних задач на етапі ведення і згорання гірничих робіт (рис. 3.1).

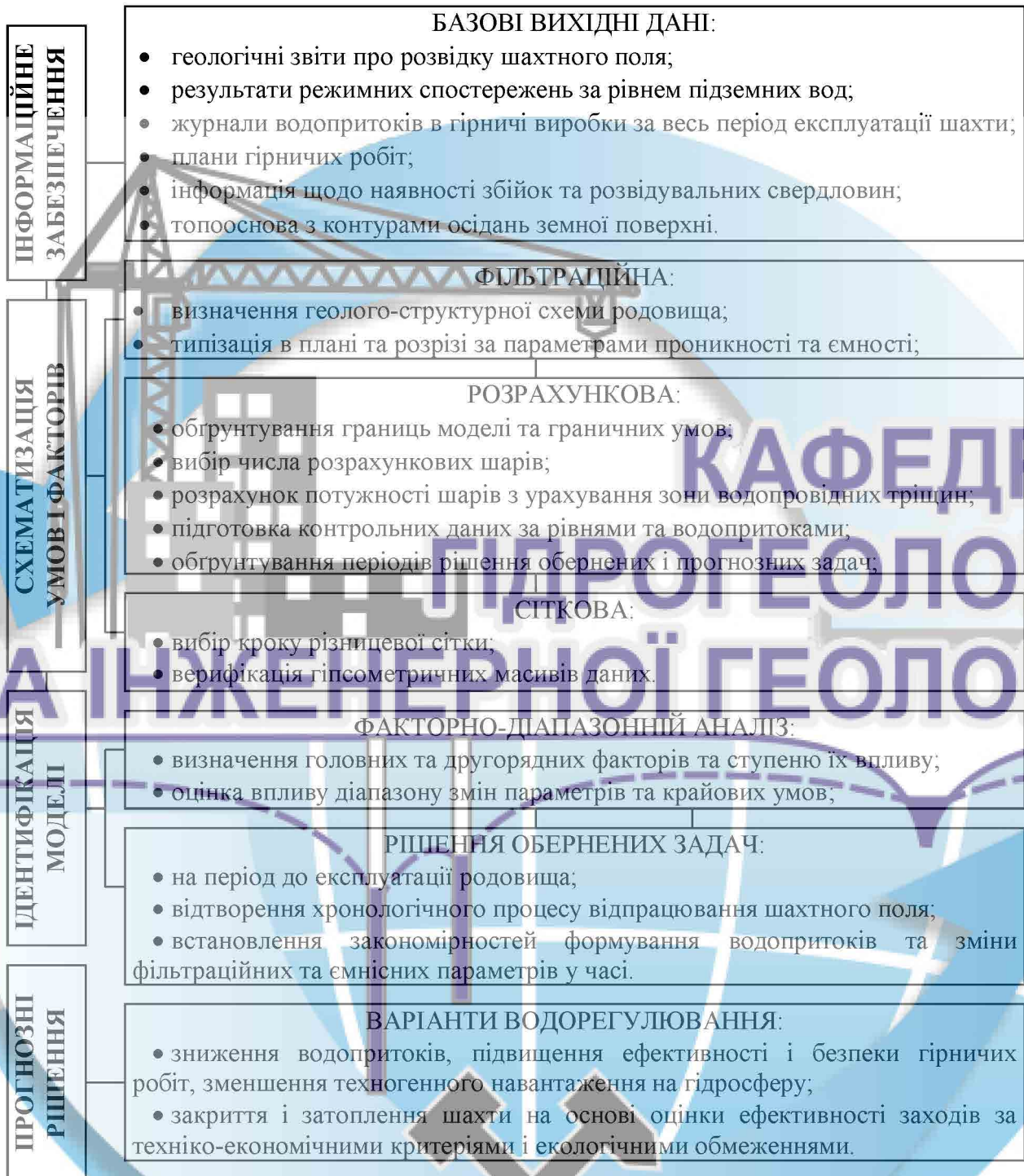


Рис. 3.1 Схема побудови та використання постійно діючої геофільтраційної моделі шахтного поля

3.3 Фізико-математичний алгоритм чисельних моделей геофільтрації

Чисельне моделювання передбачає сіткову розбивку області фільтрації і базується на скінченно-різницевому методі рішення диференціальних рівнянь,

коли частинні похідні замінюються кінцевими приростами, а диференціальне рівняння зводиться до системи алгебраїчних рівнянь. При шаруватій системі водоносних горизонтів процес нестационарної фільтрації підземних вод описується системою диференційних рівнянь

для безнапірних вод:

$$\mu^* \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k(h-b) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k(h-b) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q_n + W, \quad (3.1)$$

де μ – коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, k – коефіцієнт фільтрації, h – відмітка рівня підземних вод, b – відмітка підшови горизонту, t – час, q_n – перетік між горизонтами, W – інтенсивність інфільтрації;

– для напірних вод:

$$\mu^* \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial H}{\partial y} \right) \pm q_n, \quad (3.2)$$

де μ^* – коефіцієнт пружної водовіддачі, $T=km$ – водопровідність (k – коефіцієнт фільтрації, m – потужність горизонту), H – відмітка напору підземних вод, t – час, q_n – параметр перетікання між горизонтами.

Кількість рівнянь, що об'єднуються у систему, визначається числом розрахункових шарів (водоносних горизонтів).

Однозначність рішення рівнянь досягається завданням крайових умов: початкових та граничних. Для зовнішніх (периферійні) та внутрішніх граничних умов шахтного поля встановлюється їх просторове положення і форма (точка, контур, площина); гідродинамічний рід умови; кількісні характеристики (параметри) умови.

На контурах області фільтрації шахтного поля обґрунтовуються гідродинамічні умови першого, другого або третього роду (*I*, *II* або *III*).

Граничні умови *I*-го роду виражають залежність напору від координат і часу:

$$H|_{\Gamma} = \text{const}; H|_{\Gamma} = f(t) \quad (3.3)$$

Граничними умовами *I роду* ($H=const$) відображають положення гідро- та п'єзоізогіпс, а також поверхневі водотоки та водойми, що гідравлічно пов'язані з підземними водами і є гідродинамічно досконалыми. У випадку недосконалості застосовується параметр додаткового фільтраційного опору днища водойми або русла річки і тоді має місце гранична умова *III роду* $Q=f(H)$, де Q – витрата перетікання.

Гірничі виробки шахти апроксимуються гідродинамічною умовою *I роду* з абсолютною позначкою рівня підземних вод продуктивної товщі на підшві продуктивного пласта, що відпрацьовується, або горизонту гірничих робіт.

Граничні умови *II-го роду* характеризують залежність витрат від координат і часу:

$$Q|_{\text{II}} = \text{const}; Q|_{\text{II}} = f(t) \quad (3.4)$$

При $Q=0$ межа є водонепроникною і в умовах шахтних полів характеризує зони тектонічних порушень, що є технічними границями шахтного поля або його блоків. Крім того водозабірні або поглинальні свердловини та джерела відображаються також величиною витрат ($Q=const$).

Граничні умови *III-го роду* характеризують взаємозв'язок витрат і зміни напору:

$$Q|_{\text{III}} = f(\Delta H) \quad (3.5)$$

Перетік через слабопроникні шари визначається з урахуванням передумови Мятієва-Гірінського про нехтування горизонтальної складової фільтрації в слабопроникних шарах і вертикальної складової у проникних.

При створенні фізико-математичних геофільтраційних моделей порушеного гірського масиву шахтних полів використовується детерміністський підхід, що відповідає механіці суцільних середовищ, з врахуванням імовірнісних властивостей та параметрів гірських порід.

Для скінченно-різницевої апроксимації диференціальних рівнянь область фільтрації розбивається на об'ємні елементи системою взаємно ортогональних площин з розмірами у плані Δx і Δy . Усі показники водовміщуючої товщі

осереднюються для кожного блоку моделі та відносяться до її центру (x_i, y_i) . Для побудови розрахункової схеми використовується балансовий метод, який описує закони збереження енергії в сітці.

Скінченно-різницева апроксимація рівняння (3.1 та 3.2), що характеризується величинами напору $H(x_j, y_i, t_k)$ в межах розрахункового блоку на моменти часу t із кроком Δt , віднесених до фільтраційного опору Φ , має вигляд

$$\begin{aligned} & \frac{H_{j-1,i}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{j-1,j}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j+1,i}^t}{\Phi_{j,j+1}} + \frac{H_{j,i-1}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{i-1,i}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i+1}^t}{\Phi_{i,j+1}} \pm W_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i = \\ & = \mu_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i}^{t-\Delta t}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Фільтраційний опір Φ є величиною оберненою водопровідності між центрами суміжних блоків.

Для подальших розрахунків величини, що обернені фільтраційному опору, позначимо як:

$$S_{i+1,j} = \frac{2\Delta y_i T_{i,j} T_{i+1,j}}{T_{i+1,j} \Delta x_i + T_{i,j} \Delta x_{i+1}}; \quad (3.7)$$

$$S_{i-1,j} = \frac{2\Delta y_i T_{i,j} T_{i-1,j}}{T_{i-1,j} \Delta x_i + T_{i,j} \Delta x_{i-1}}; \quad (3.8)$$

$$S_{i,j+1} = \frac{2\Delta x_j T_{i,j} T_{i,j+1}}{T_{i,j+1} \Delta y_j + T_{i,j} \Delta y_{j+1}}; \quad (3.9)$$

$$S_{i,j-1} = \frac{2\Delta x_j T_{i,j} T_{i,j-1}}{T_{i,j-1} \Delta y_j + T_{i,j} \Delta y_{j-1}}; \quad (3.10)$$

де T – водопровідність у блоці моделі.

Різницева апроксимація граничної умови III-го роду, що враховує зв'язок витрат Q_n між суміжними водоносними шарами через шар потужністю $m_{o,ij}$ і коефіцієнт фільтрації $k_{o,ij}$, має вигляд

$$Q_n = \frac{k_{o,ij} \Delta x_j \Delta y_i}{m_{o,ij}} (H_{ij,1}^t - H_{ij,2}^t), \quad (3.11)$$

де вираз у дужках є різницею напорів у суміжних шарах.

Аналогічна апроксимація граничної умови *III-го роду*, що характеризує зв'язок між підземними та поверхневими водами з відповідними напорами H_{ij}^t та H_{ij}^{sd} , має вигляд

$$Q_p = \chi_{ij} (H_{ij}^{sd} - H_{ij}^t), \quad (3.12)$$

де χ_{ij} – коефіцієнт перетоку, що відображує зв'язок підземних вод з поверхневими та враховує недосконалість водойми, розраховується за залежністю

$$\chi_{ij} = \frac{T_{ij} N_{ij}}{L_{ij} + \Delta L_{ij}}, \quad (3.13)$$

де ΔL_{ij} – недосконалість ложа водотоку; L_{ij} – відстань від центру блоку до водотоку; N_{ij} – довжина водотоку в блоці.

Гранична умова *II-го роду* відображає роботу шахтного водовідливу Q_{ij} з напором на підшві пласта, що відпрацьовується, або на горизонті шахтного водовідливу H_{ij}^f

$$Q_{ij} = k_{ij} \Delta x_j \Delta y_i \frac{(H_{ij}^t - H_{ij}^f)}{H_{ij}^t}. \quad (3.14)$$

Гранична умова *I-го роду* задається стабільним значенням поверхні води $H_{ij,c}$ на її контуру, де відсутній опір ложа, і показує величину фільтраційного розвантаження $Q_{1,ij}$ в річку (або навпаки)

$$Q_{1,ij} = T_{1,ij} \frac{(H_{1,ij} - H_{ij,c})}{H_{ij,c}} \Delta x_j \Delta y_i + W, \quad (3.15)$$

де $T_{1,ij}$ – додаткова водопровідність підрусового шару.

З урахуванням вищенаведеного, скінченно-різницева апроксимація балансового рівняння фільтрації підземних вод при наявності перетікання між суміжними водоносними горизонтами ($\kappa+1$ і $\kappa-1$) та інфільтраційного живлення, має вигляд:

$$\begin{aligned}
\mu_{i,j,k} \frac{\Delta x_i \Delta y_j}{\Delta t} (H_{i,j,k}^{t+\Delta t} - H_{i,j,k}^t) = & s_{i+1,j,k} (H_{i+1,j,k}^t - H_{i,j,k}^t) + \\
& + s_{i-1,j,k} (H_{i-1,j,k}^t - H_{i,j,k}^t) + s_{i,j+1,k} (H_{i,j+1,k}^t - H_{i,j,k}^t) + \\
& + s_{i,j-1,k} (H_{i,j-1,k}^t - H_{i,j,k}^t) + \frac{k_{0,i,j,k-1} \Delta x_i \Delta y_j}{m_{0,i,j,k}} (H_{i,j,k-1}^t - H_{i,j,k}^t) + \\
& + \frac{k_{0,i,j,k+1} \Delta x_i \Delta y_j}{m_{0,i,j,k+1}} (H_{i,j,k+1}^t - H_{i,j,k}^t) + W \Delta x_i \Delta y_j
\end{aligned} \tag{3.16}$$

Геофільтраційні задачі вирішуються ітераційними методами, суть яких полягає у послідовному наближенні отриманого рішення до більш точного. Критерієм завершення ітераційного процесу є умова наближення результатів двох послідовних ітерацій.

Типовий алгоритм рішення диференціального рівняння фільтрації методом скінчених різниць закладений в основі програмних комплексів MODFLOW (США) та MIFr (Україна), що використовуються на кафедрі гідрогеології та інженерної геології НТУ «Дніпровська політехніка».

3.4 Опис геофільтраційної моделі шахтних полів

Згідно плану гірничих робіт в Західному Донбасі передбачено закриття до 2024 року трьох шахт східної групи, а саме ш. ім. Сташкова, «Степова» та «Ювілейна».

Гідродинамічна модель шахтних полів «Сташкова-Дніпровська», що гідродинамічно пов'язані через водоносний комплекс покривних відкладів та гірничі виробки в зоні тектонічного порушення (рис. 3.2), створена колективом авторів [64] на кафедрі гідрогеології та інженерної геології НТУ «Дніпровська політехніка».

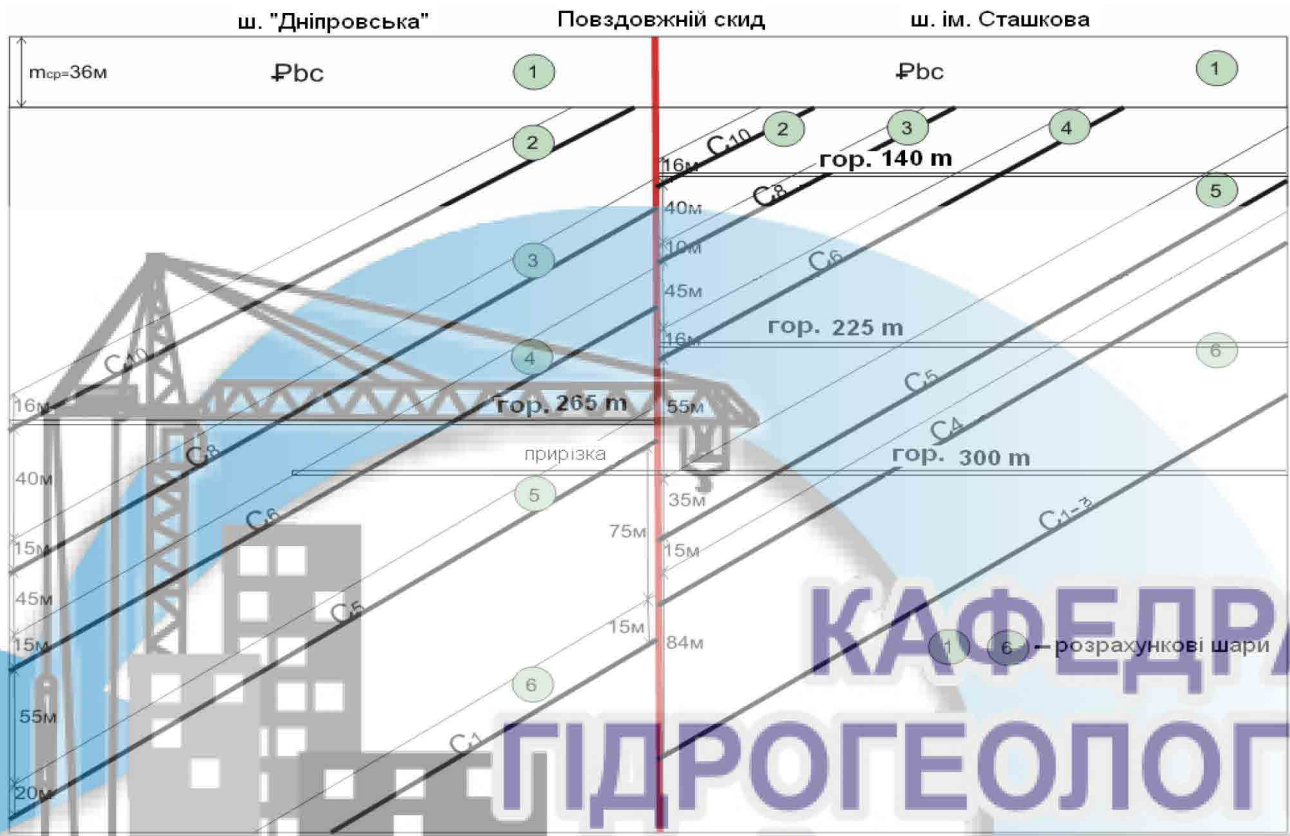


Рисунок 3.2 – Схематичний розріз моделі

У вертикальному розрізі модель являє собою 6-ти шарову товщу, де перший розрахунковий шар (1) відображує покривний водоносний комплекс бучацьких відкладів, а нижні (2...6) – вугільні пласти і породи зони водопровідних тріщин (C_{10} , C_8 , C_6 , C_5 , C_4) (рис. 2.4).

У плані модель представлена площею розміром $16,6 \times 14$ км, має 80×70 блоків з кроком 200×200 м, де на півночі розташоване поле шахти «Дніпровська», а на півдні – поле шахти ім. М.І. Сташкова (рис. 3.3).

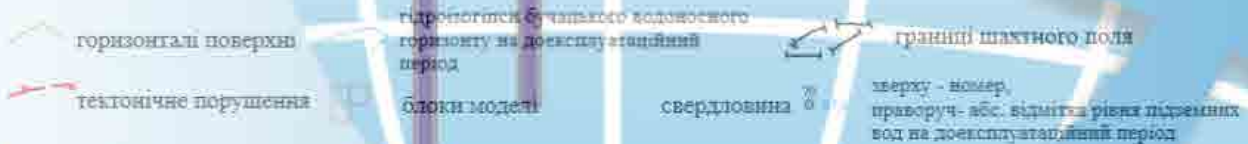


Рисунок 3.3 – Геометрія і границі моделі покривних відкладень.

Зовнішніми гідродинамічними межами шахтних полів покривної товщі, що відображає бучацький водоносний горизонт, є природні умови живлення і розвантаження підземних течій в річку Самара (*I-go роду, $H=const$*), а бокові границі в межах шахтних полів відповідають лініям струмів з нульовою витратою (*II-go роду, $Q=0$*). У кожній вузловій точці сітки відображена гіпсометрія пласта, фільтраційні і ємнісні параметри водоносних горизонтів і шарів, що їх поділяють.

Для шахт ім. М.І. Сташкова та «Дніпровська» гідродинамічні границі продуктивної кам'яновугільної товщі співпадають з технічними межами шахтного поля, які встановлені вздовж зон тектонічних порушень (Поздовжній, Петровський, Богданівський і Нікольський скиди) і є непроникними екранами на шляху фільтрації підземних вод ($Q=0$).

Зони виходу вугільних пластів під буцацький водоносний горизонт, а саме C_{10} , C_8 , C_6 , C_5 , C_4 (ш. ім. М.І. Сташкова) і C_{10} (ш. «Дніпровська»), представлені на моделі граничними умовами III роду і відображають взаємозв'язок рівнів і витрат підземних вод під впливом дії шахтного водовідливу (рис. 3.4).

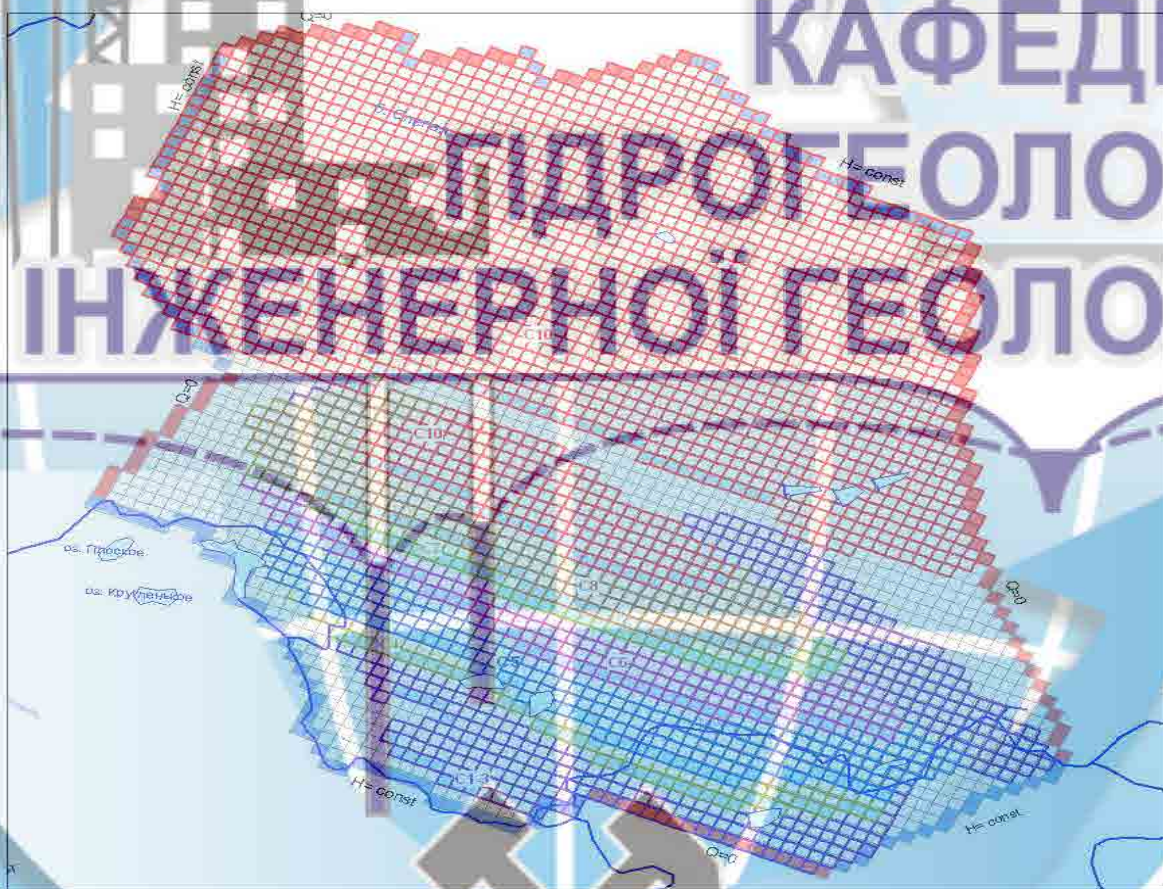


Рисунок 3.4 – Проекція виходів вугільних пластів під буцацькі відкладення і геометрія вугільних пластів, що моделюються

Внутрішні границі моделі – це гірничі виробки, які є контуром дренажу на підшві вугільного пласта, включаючи пісковики, що залягають в зоні водопровідних тріщин.

Представлення на моделі процесу відпрацювання вугільних запасів в продуктивній товщі карбону можливо завданням розрахункових шарів відповідно

до горизонтів відпрацювання або відображенням вугільних пластів. Для врахування гідравлічного зв'язку між верхнім та нижнім гідрогеологічними поверхнями доцільно використання другого варіанту, що дозволить задавати додаткове живлення в зонах виходу вугільних пластів та палеоруслових пісковиків під товщу мезо-кайнозойських порід.

Для створення масивів вихідної інформації використані: карти гіпсометрії поверхні землі, покрівлі та підшви вугільних пластів, гідрогеологічні карти на різні часові періоди, дані про фільтраційні параметри порід, результати режимних спостережень.

Представлена схема моделі дозволяє врахувати гідравлічний зв'язок шахтних полів «Дніпровська» і ім. М.І. Сташкова через товщу покривних відкладів, а також кількісно оцінити порушений режим підземних вод карбонової товщі.

Для ідентифікації моделі за динамічною аналогією відтворені процеси, фактичні дані про перебіг яких зафіксовані в натурних умовах. Для цього задаються контури дренажу згідно з планами гірничих робіт в періоди, де зафіксовані характерні зміни величин водопритоків, а також є дані режимних спостережень.

Процес відпрацювання вугільних запасів моделюється шляхом введення внутрішньої граничної умови *I* роду відповідно до плану ведення гірничих робіт. При цьому реакція моделі на гідродинамічне збурення відповідає фактично зафіксованим водопритокам окремо по шахтопластам і положенню рівня підземних вод покривних відкладень за кожним з періодів.

Для обґрунтування параметрів проникності та ємності гірського масиву в природному непорушеному стані на моделі відтворюється стаціонарна гідродинамічна картина на доексплуатаційний період (до 1971 року), яка свідчить про те, що в природних гідродинамічних умовах підземні води покривних відкладів розвантажуються в р. Самара.

Ідентифікація моделі за періодами відпрацювання проводилася також з урахуванням даних режимних спостережень за рівнем підземних вод в покривних відкладеннях, а саме в бучацькому водоносному горизонті.

В межах шахтних полів Західного Донбасу є повний цикл спостережень за режимом підземних вод від природного до порушеного. В період з 1989 по 1995 роки відомча мережа спостережних гідрогеологічних свердловин на весь комплекс водоносних горизонтів, що дрениються гірничими виробками, складалась зі 232 одиниць. На теперішній час мережа нараховує 96 свердловин. На полі шахти ім. М. І. Сташкова спостереження ведуться у 6-тьох свердловинах, обладнаних на бучацький, межигірський, берекській та алювіальній водоносні горизонти.

Аналіз динаміки формування водопритоків з використанням комп'ютерної гідродинамічної моделі шахтних полів дозволяє зробити висновки щодо закономірностей їх формування та зміни в часі фільтраційних параметрів порушеного породного масиву.

При природній водопровідності вугільних пластів $0,5-1,5 \text{ м}^2/\text{доб}$ досягнення фактичних величин водопритоків можливе тільки за наявності транзитних зон підвищеної проникності. На полі шахти ім. М.І. Сташкова вони представлені товщами пісковиків потужністю до 60 м і водопровідністю до $30 \text{ м}^2/\text{доб}$, які залягають в покрівлі вугільних пластів і мають вихід під обводнені покривні відкладення. Згідно літолого-фаціального аналізу це алювіальні пісковики палеорусел раннього карбону і закономірності їх розповсюдження за площею відповідають зонам підвищених водопроявів при веденні гірничих робіт.

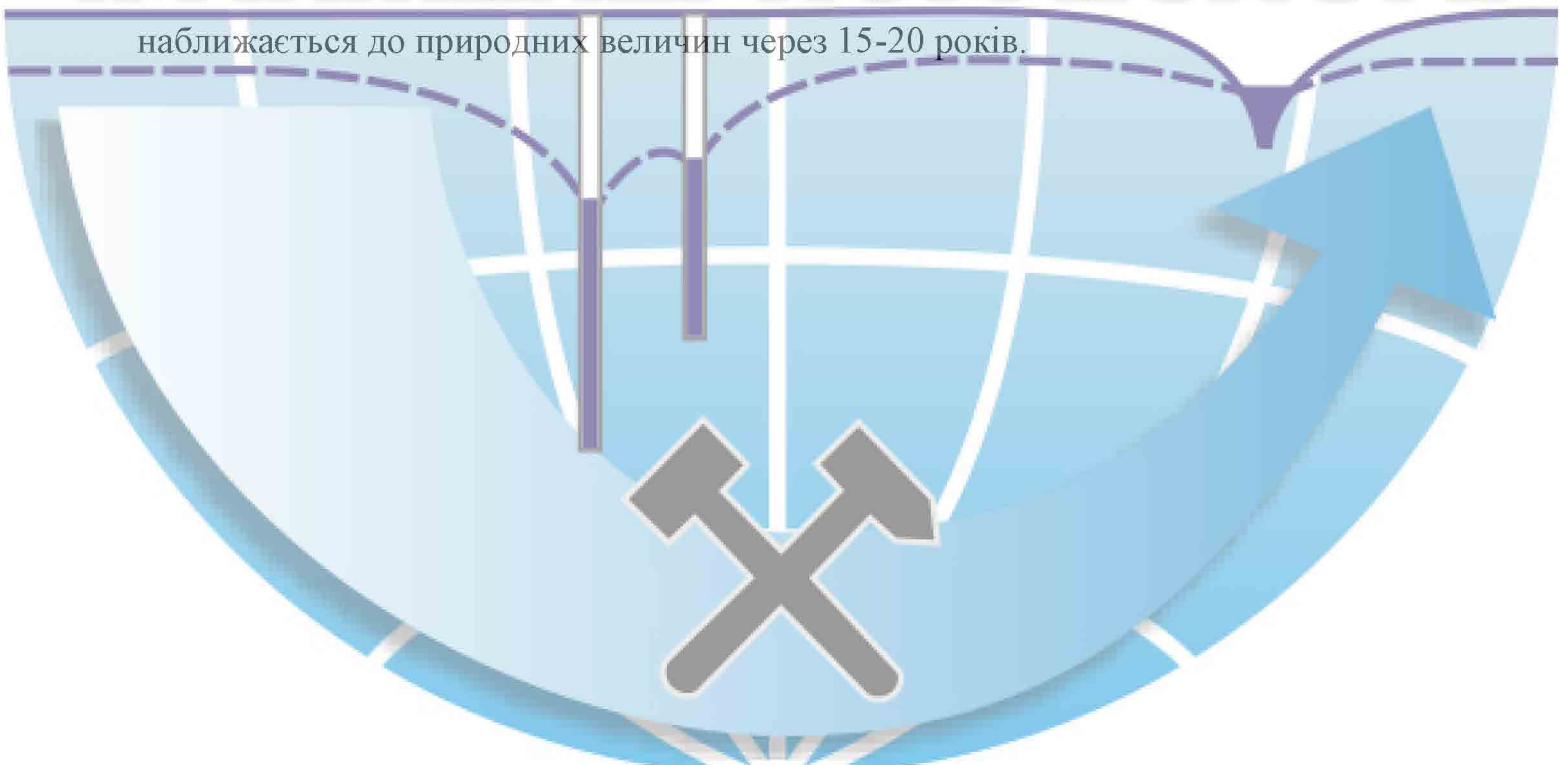
Приток води в шахту на 70% забезпечується ресурсами, що залучаються з мезокайнозойських відкладень, і на 30% – ємнісними запасами кам'яновугільної товщі. Наслідком цього є формування воронки депресії до 31 м в бучацькому водоносному горизонті і зміна напрямку руху фільтраційних течій біля р. Самари. У порушених умовах річка із зони розвантаження перетворюється в зону живлення покривних відкладів і відповідно надає додатковий ресурс обводнення гірничих виробок.

Переміщення воронки депресії бучацького горизонту відбувається синхронно введенню в експлуатацію нових вугільних пластів в напрямку до зони виходу під покривні відкладення.

Максимальне залучення річкового стоку р. Самари в шахтний водовідлив зафіксовано при відпрацюванні вугільного пласта C_5 в заплаві близько в 200-х метрах від русла і наближенні до границь безпечного ведення гірничих робіт. Так максимальний водоприток по пласту на 69% був обумовлений перетіканням річкових вод. При віддаленні гірничих робіт від зони виходу вугільного пласта під бучацько-київські відкладення і зменшенні потужності підруслових пісковиків в східній частині шахтного поля цей показник зменшується до 17%.

Величина притоку води в шахту не корелює зі збільшенням площі гірничих робіт, що свідчить про зміну параметрів проникності відпрацьованих площ. На відпрацьованих з обваленням покрівлі ділянках проникність карбонової товщі є величиною змінною в часі, значення якої збільшується в 10-15 разів при зрушенні гірських порід та нелінійно зменшується в два рази через 5-10 років і наближається до природних величин через 15-20 років.

КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



4 ОБГРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ВОДРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ

В умовах згортання гірничих робіт та закриття шахт основна задача водорегулювання полягає у скороченні та оптимізації витрат на експлуатацію системи водовідливу в умовах безпечної роботи суміжних шахт та екологічно прийняттого гідрогеологічного режиму на поверхні.

За прогнозними розрахунками при затопленні шахти ім. Сташкова зоною потенційного підтоплення і заболочення залишається, як і в доексплуатаційному періоді, заплава річки Самара площею близько 9,75 км², де абсолютні позначки поверхні землі менше +75 м (рис. 4.1). Слід відзначити, що ці ділянки не підроблялися і розташовані поза зоною геомеханічного впливу гірничих робіт.



Рисунок 4.1 – Фрагмент ділянки шахтного поля: 1, 2, 3 – проекції пласта C_5 на денну поверхню, відповідно, плоского дна, контуру пласта та зони впливу; 4 – межа зони потенційного підтоплення; 5 – зона розташування водозабірних свердловин

В якості інженерних заходів захисту заплави річки від підтоплення оцінені

варіанти підтримки водовідливного режиму шахти стаціонарними та занурювальними насосами (варіанти 1, 2) та запропоноване альтернативне рішення будівництва та використання водозабору (варіант 3).

4.1 Збереження існуючого підземного комплексу головного водовідливу

Цей варіант передбачає підтримання водовідливу в стовбурі шахти ім. М.І.Сташкова на горизонті 225 м. За результатами прогнозних рішень величина водопритоку становитиме близько 670 м³/год.

Положення рівневої поверхні бучацького водоносного горизонту в ізолініях та площах з абсолютними позначками представлено на рис. 4.2.

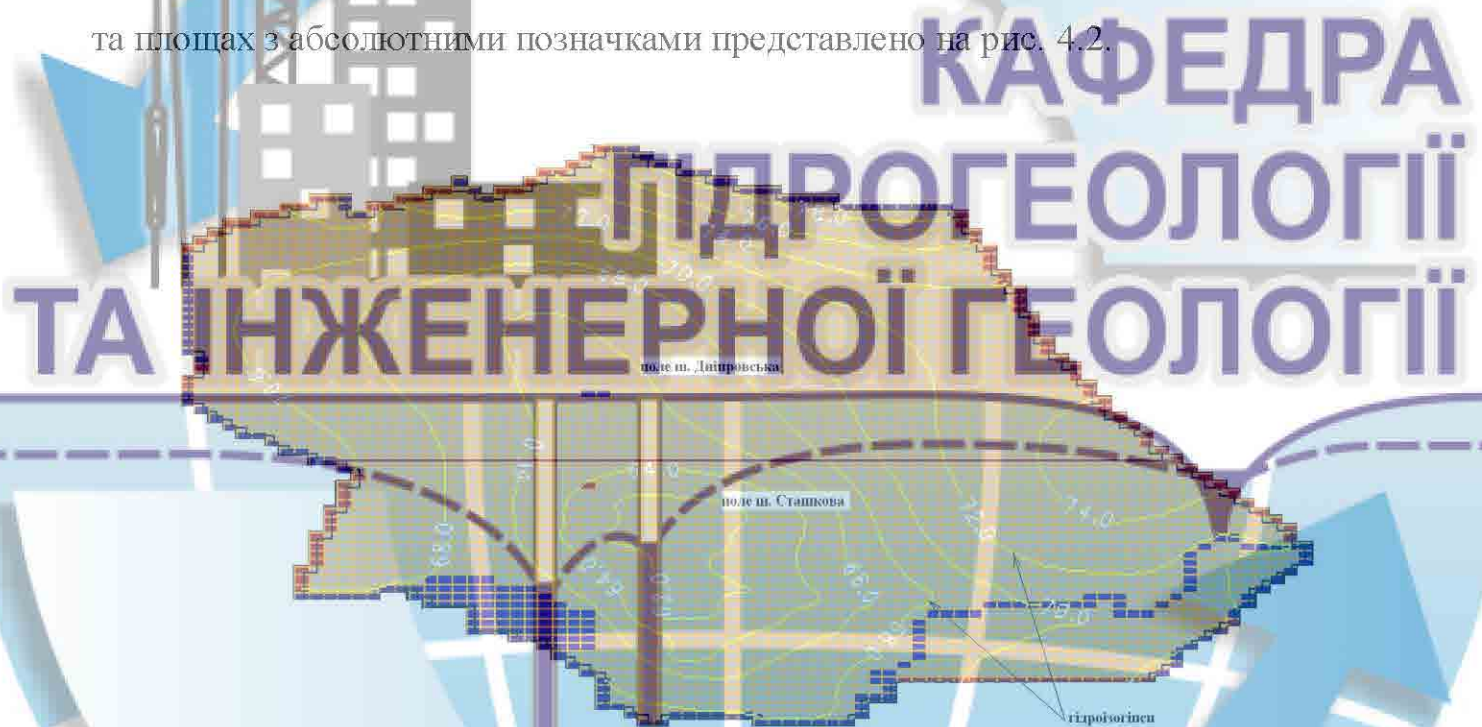


Рисунок 4.2 Формування рівневої поверхні бучацького водоносного горизонту (абс. позначки) при роботі водовідливного комплексу на горизонті 225 м

Збереження водовідливного комплексу на горизонті 225 м дозволяє знизити рівень підземних вод покривних відкладень в зоні потенційного (доексплуатаційного) підтоплення на 4 м (рис. 4.3). Проте розглянутий варіант передбачає у довгостроковій перспективі схему відкачки мінералізованої шахтної води та подальше відведення у р. Самара в кількості 5869,2 тис. м³/рік.

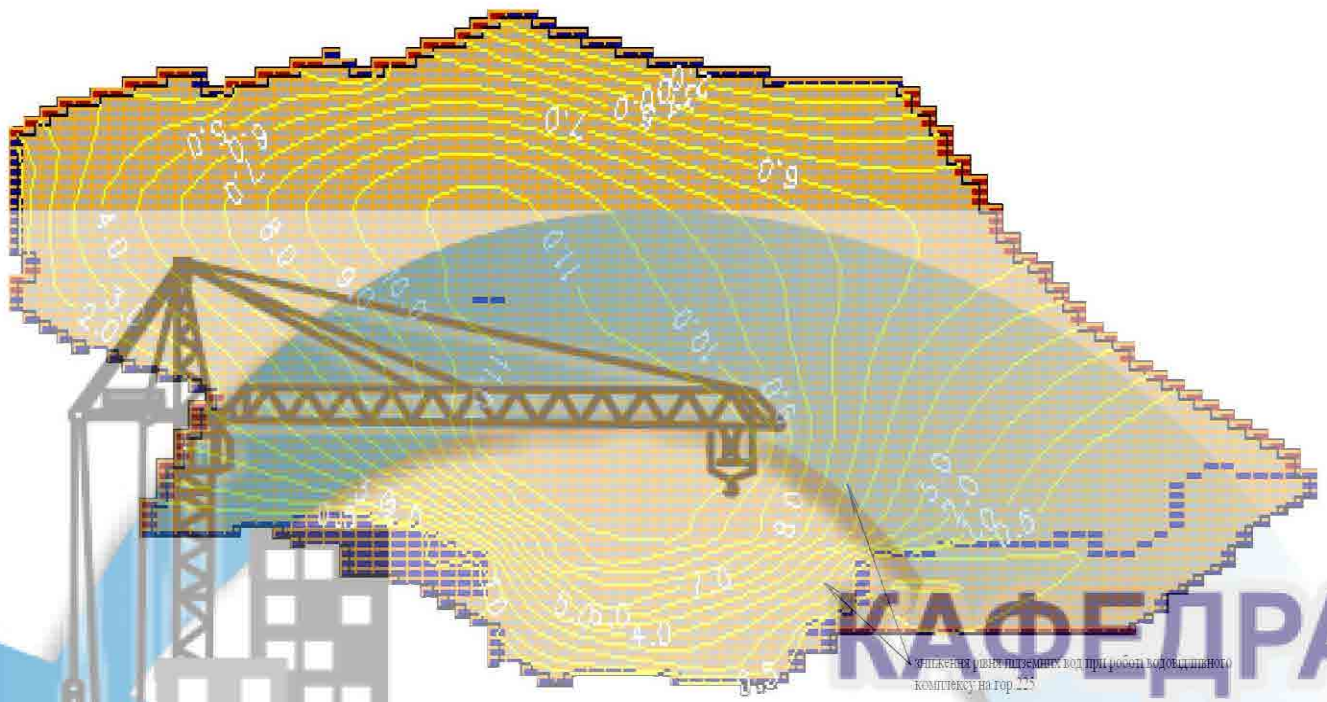


Рисунок 4.3 – Величини зниження рівня покривних відкладень (в порівнянні з відновленим рівнем при повному затопленні) при роботі водовідливного комплексу на горизонті 225 м

4.2 Підтримання водовідливного режиму занурювальними насосами

Дослідженнями [65] встановлено, що для управління екологічною безпекою приповерхневого водоносного комплексу (попередження підтоплення, зміни якості підземних і поверхневих вод), необхідно підтримувати відмітки рівня шахтних вод нижче підосви покривних відкладів в межах площі гірничих робіт.

Для підтримки рівня шахтних вод (підземних вод карбонівих відкладів) в межах зон підробки на абсолютній позначці +20 м (мінімальна позначка підосви покривних відкладів) відкачка занурювальними насосами розглядалась за наступними підваріантами.

Абсолютна позначка рівня шахтних вод в стволіі:

- +10м з дебітом від 350 м³/год до 300 м³/год;
- -10м з дебітом відкачки від 350 м³/год і до 300 м³/год;
- -30 м з дебітом від 350 м³/год і до 300 м³/год.

Реакція водоносного горизонту покривних відкладень на роботу занурювальних насосів представлена на рис. 4.4-4.6, з яких видно, що радіус

впливу відкачки значно менший, ніж за варіантом 1, а зниження рівня в зоні потенційного підтоплення складає від 0,1 до 1,2 м.

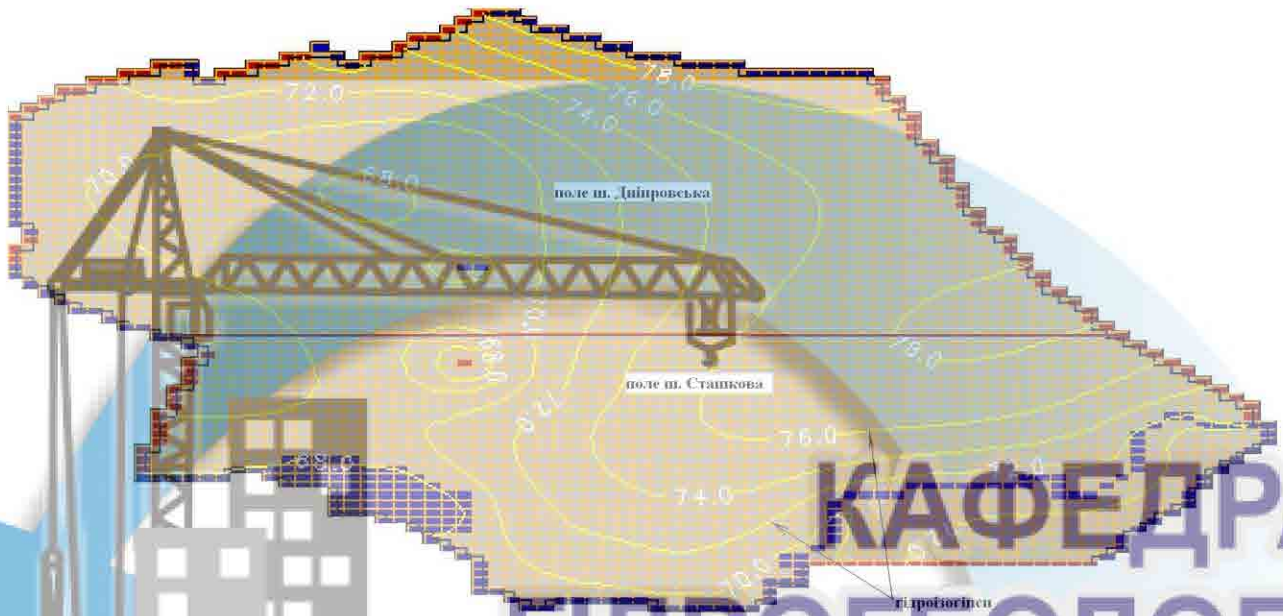


Рис. 4.4 Карта гідроізопієс водоносного горизонту покривних відкладів при відмітці рівня шахтних вод в стовбурі на абс. позн. +10 м

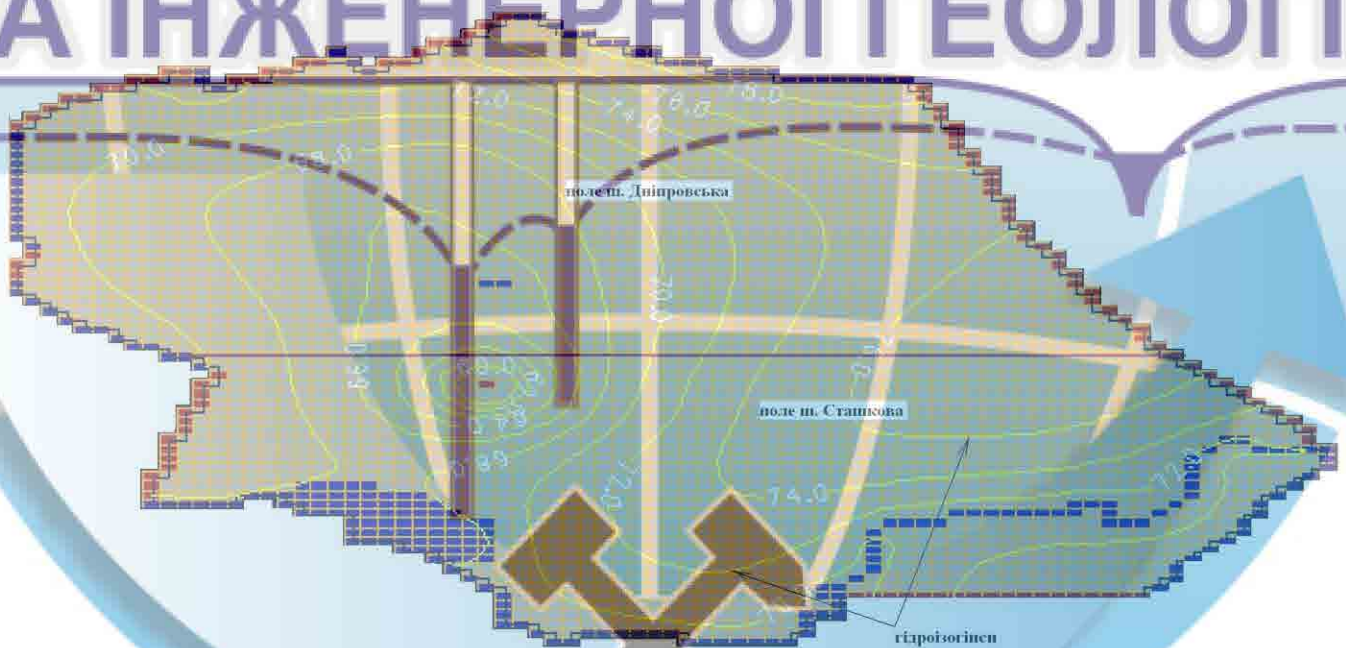


Рис. 4.5 Карта гідроізопієс водоносного горизонту покривних відкладів при відмітці рівня шахтних вод в стовбурі на абс. позн. -10 м

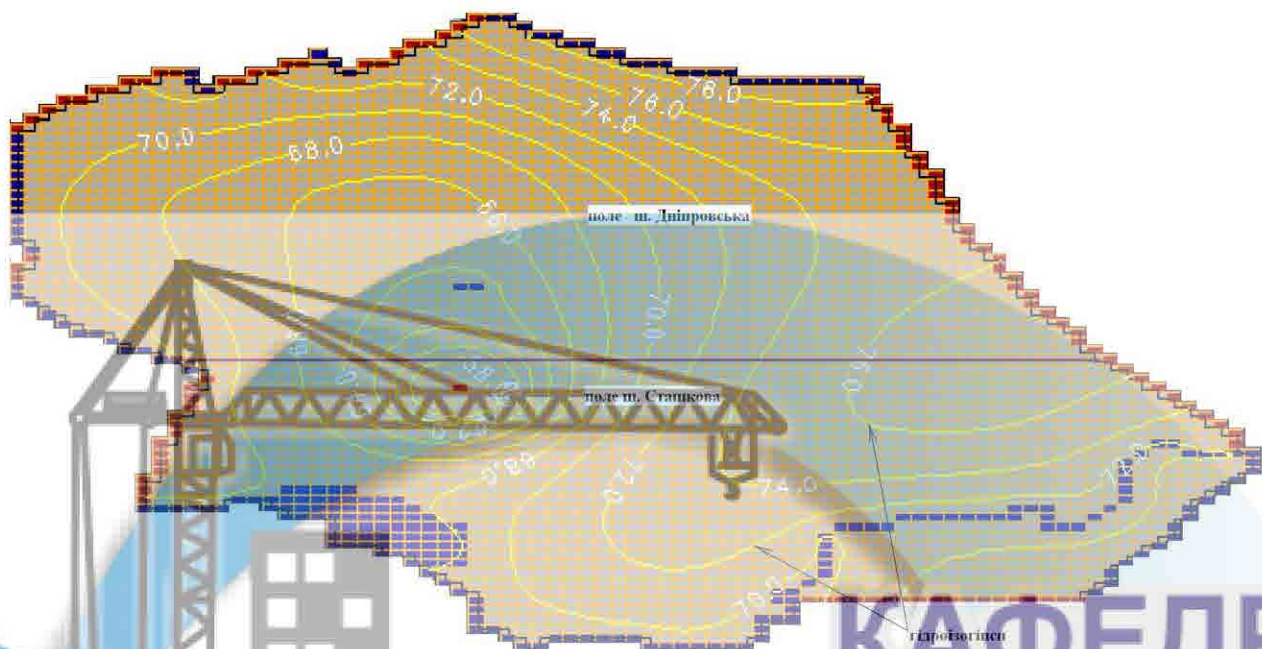


Рис. 4.6 Карта гідроізогіпе водоносного горизонту покривних відкладів при відмітці рівня шахтних вод в стовбурі на абс. позн. -30 м

Експлуатація занурювальних насосів може зменшити площі підтоплення на 15%, проте в заплаві річки Самари залишатимуться зони потенційного підтоплення, обмежені горизонтально поверхні +75м (рис. 4.7).

Розташування занурювальних насосів на глибині, що співпадає з горизонтом 225 м, матиме таку ж водовідливну потужність ($670 \text{ м}^3/\text{час}$) і площі зниження рівня, як для стаціонарного водовідливу, але при цьому необхідний вільний перепуск води з горизонту 140 м.

Технічно можливий (з необхідним економічним обґрунтуванням) варіант обладнання занурювальних насосів на відмітці горизонту 300м з вільним перепуском води з горизонтів 140 і 225 м. Водовідливна потужність при цьому підтверджена оберненими задачами моделювання на рівні $1141 \text{ м}^3/\text{год}$ з незначним подальшим зниженням у часі.

За цих умов досягається стабілізація існуючого на 2020 р. гідродинамічного режиму у межах шахтного поля. Проте розглянутий варіант аналогічно варіанту 2 не є екологічно привабливим, бо передбачає у довгостроковій перспективі збереження існуючої схеми з відкачування мінералізованої шахтної води та подальше її відведення у р. Самара в кількості $5869,2 \text{ тис. м}^3$ на рік.

4.3 Будівництво водозабору технічної води в продуктивній товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності

Обґрунтування альтернативного варіанту та місця розташування свердловини визначається досвідом відпрацювання пласта C_5 в безпосередній близькості до виходу пласта під покривні відклади та до русла річки Самара (1994-1995 рр), коли зафіксовані аномально високі водопритокі в шахту (1817 м³/год, з них 649 м³/год по пласту C_5), а зниження рівня бучацьких відкладів сягнуло 30 метрів. В цьому випадку додатковою зоною транзиту підземних вод покривних відкладень слугували палеоруслові пісковики в основній покрівлі пласта C_5 потужністю 14-22м.

Встановлення причин та факторів прояву аномальних водопритоків дозволяє використовувати порушену зону підруслових пісковиків в діапазоні абсолютних відміток (-55м)...(-50 м) для зниження природних площ підтоплення після ліквідації шахти. Місце розташування свердловини в плані показано на рис. 4.7.



Рис. 4.7 План поверхні землі в зоні потенційного підтоплення поля ш. ім. М.І. Сташкова

Динаміка зміни рівня в покривних відкладах відображена на рис. 4.8. З рисунку видно, що достатнє (до 2 м) зниження рівня в зоні потенційного підтоплення фіксується при роботі свердловини з дебітом 150 м³/год або 3600 м³/добу. У відповідності до динаміки затоплення шахтного поля введення її в експлуатацію необхідно передбачити через 6 місяців з початку затоплення

шахтного поля (табл. 4.1). Середня мінералізація вод, що відкачуватимуться, становитиме близько 2,07 г/дм³.

Таблиця 4.1 – Параметри експлуатації водозабірної свердловини (свердловин) з оптимальним водовідбором

Параметри	Величина водовідбору, м ³ /год
Дебіт свердловини (в тому числі перетікання з буцацького водоносного горизонту)	150 м ³ /год (93 м ³ /год або 62%)
Абс. відмітка відкачки в діапазоні -55...-50 м	
Час введення в експлуатацію – через 6 місяців з початку процесу затоплення	
Середня мінералізація – 2,07 г/дм ³	

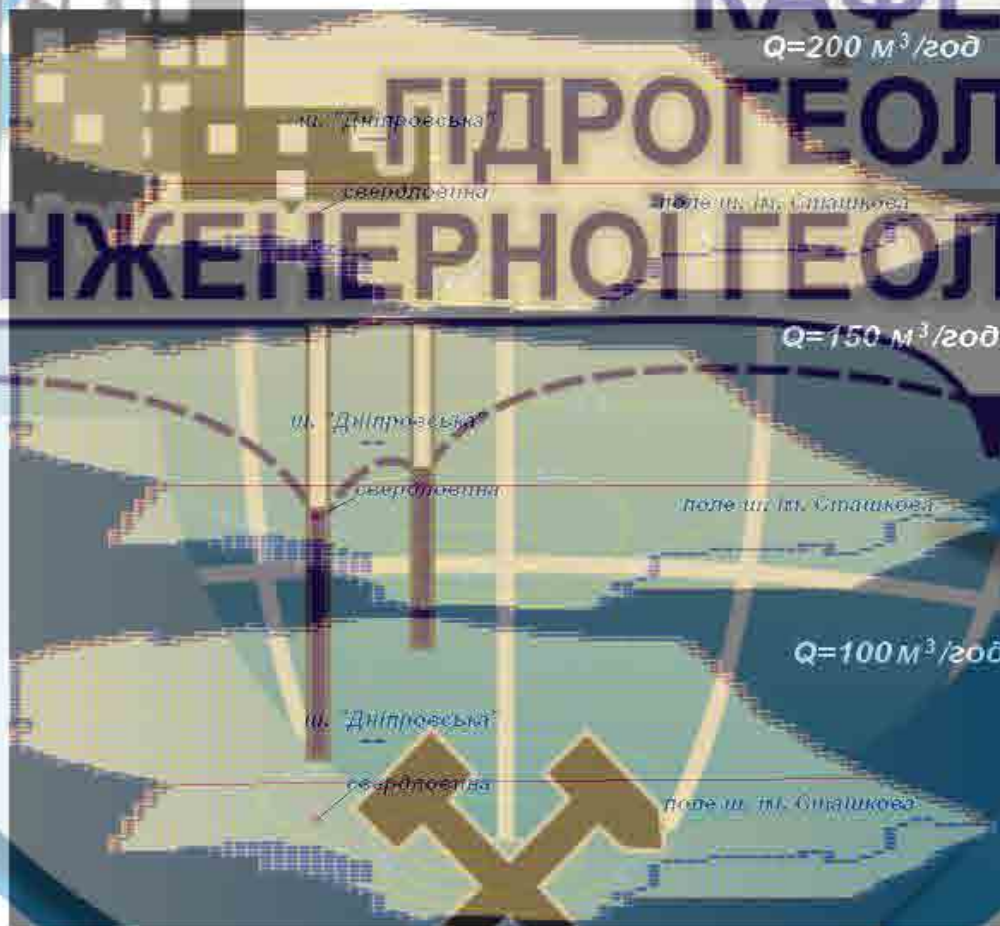


Рисунок 4.8 – Вплив роботи водозабору в палеоруслівих пісковиках на зниження рівня підземних вод покривних відкладень

Цей варіант найбільш доцільний з синхронною організацією моніторингу рівневого режиму та поступовим нарощування водовідливної потужності згідно графіку (рис. 4.9).

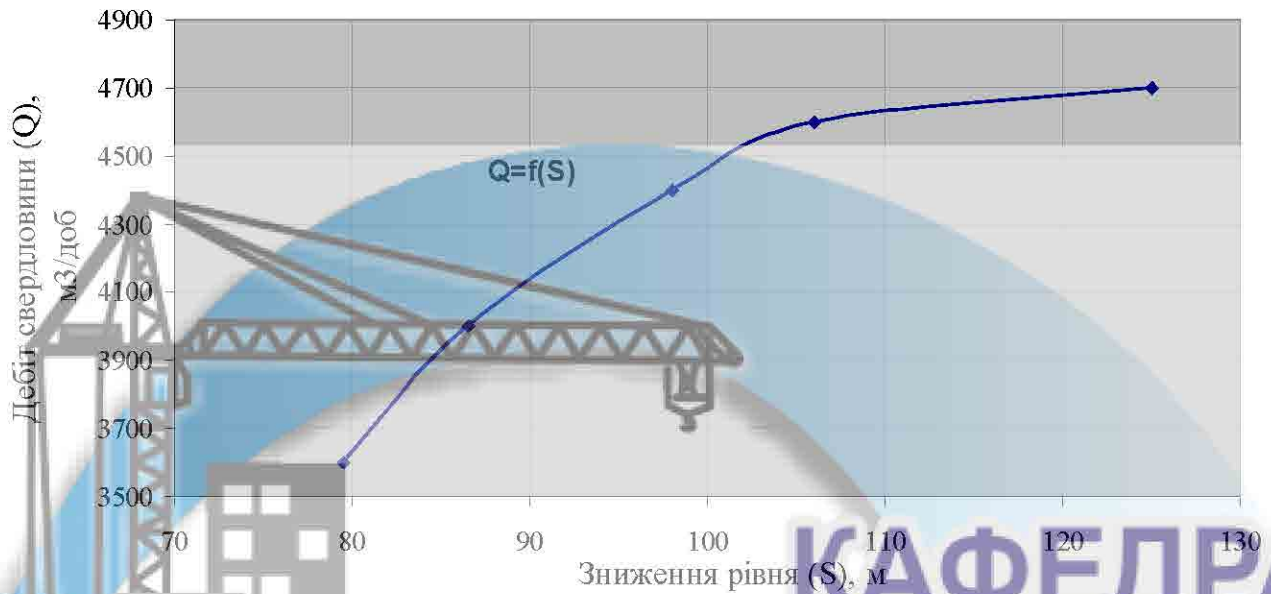


Рисунок 4.9 – Залежність дебіту відкачки від зниження в свердловині

Використання альтернативного варіанту дозволяє зменшити зони потенційного підтоплення, проте передбачає додаткове вилучення земельних ресурсів для будівництва об'єктів інженерної інфраструктури, що будуть забезпечувати відкачку води з підземних водоносних горизонтів та її транспортування для подальшого скиду у р. Самара через додатковий водовипуск у кількості 1314 тис. м³ на рік.

Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. Упередження витрат коштів на фізичне утримання шахти склало 114,3 млн. грн. та 21,4 млн. грн., відповідно до витрат на роботу головного водовідливу та використання занурювальних насосів.

Отримані результати прогнозних гідродинамічних рішень щодо наслідків затоплення шахти є основою для розробки проекту її ліквідації.

5. ОРГАНІЗАЦІЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЯК СКЛАДОВОЇ ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ЗАКРИТТІ ШАХТ

Сучасний гідрогеологічний моніторинг – це складна, багатоступенева, просторово-часова, природно-технічна система контролю та управління геофільтраційним режимом зі зворотним зв'язком між контролем і управлінням. Його складовими є наступні елементи:

- ведення режимних спостережень за мережею свердловин;
- інтерпретація результатів спостережень і комплекс гідрогеологічних розрахунків на етапах епігнозу і прогнозу з використанням постійно діючої математичної моделі техногенного режиму підземних вод;
- розробка комплексу заходів з водорегулювання, їх впровадження та оцінка їх ефективності;
- коригування заходів, прогноз у новій гідродинамічній ситуації з впровадженням інженерно-технічних заходів, нові режимні спостереження та їх аналіз. Тут має місце зворотний зв'язок повернення до першого пункту в нових гідрогеологічних умовах.

Постійнодіюча математична модель техногенного гідродинамічного режиму району досліджень, як і мережа режимних спостережень, є важливою складовою сучасного гідрогеологічного моніторингу.

5.1 Моніторинг при затопленні шахтних полів

При організації гідрогеологічного моніторингу на полях шахт, що затоплюються, враховуються загальні вимоги нормативних та інструктивних документів [65].

На полі шахти ім. М. І. Сташкова спостереження ведуться у 6-тих свердловинах 270ПР-Р2ВС, 271ПР-Р2ВС, 199ПР-Р3МЗ, 210ПР-Р3МЗ, 207ПР-Р3ВР, 198ПР-АQ, обладнаних на бучацькій, межигірській, берекській та алювіальній водоносні горизонти (рис. 5.1), які слід продовжувати протягом всього періоду затоплення шахти (мінімум 3 роки).

Гідрогеологічний моніторинг при затопленні шахт доцільно виконувати за двома цільовими напрямками. На першому оцінюється швидкість затоплення ліквідованої шахти і контролюється безпека гірничих робіт на суміжних шахтах.

За другим напрямком гідрогеологічного моніторингу основним завданням є контроль екологічної безпеки затоплення шахти, що проводиться паралельно з оцінкою режиму затоплення гірничих виробок.



Рисунок 5.1 – Схема розташування відомчих спостережних свердловин на полі ш. ім. М.І Сташкова

Для виконання цих завдань в першу чергу обладнуються п'езометри і проводяться систематичні спостереження за швидкістю затоплення гірничих виробок ш. ім. М.І. Сташкова. Оскільки ліквідація стовбурів шахти та вентиляційної свердловини передбачена вимогами КД 12.12.005-2001 «Правила ліквідації стволів угольних шахт», для виміру рівнів шахтних вод використовуються п'езометри, розміщені в одній з водовідливних свердловин (рис. 5.2), що має сполучення з гірничими виробками 225 горизонту.

Поряд зі звичайними відкритими п'езометрами для визначення рівня води в затоплюваних виробках можливе використання датчиків гідростатичного тиску, розміщених на заданих відмітках в виробках до затоплення шахти або в шахтних стовбурах до їх ліквідації. При великих глибинах гірничих робіт використання датчиків гідростатичного тиску, розміщених у виробках, дозволяє істотно

скоротити капітальні витрати на обладнання спостережної мережі та знизити трудомісткість операцій щодо виміру рівнів води в затоплених виробках.



Рисунок 5.2 – Викопіювання з плану гірничих робіт з розташуванням водовідливних свердловин 1, 2, 3

Для контролю за безпекою ведення гірничих робіт на сусідніх шахтах, що експлуатуються (ш. «Самарська» та «Дніпровська»), необхідно щомісяця заміряти водопритоки у виробки. Крім того, на шахті «Дніпровська», де розташовані геологорозвідувальні свердловини №3324 та №3281, необхідно зосередити увагу, при перетині лавами 718 і 818 свердловини №3324, на ділянці сполучення траєкторії течії води з водозбірною виробкою (західний магістральний вентиляційний штрек пласта C_3^H).

Систематичні спостереження з метою контролю екологічної безпеки мають бути організовані до настання періоду впливу затоплення шахти на режим водоносних горизонтів покривної товщі (в перший рік). Зокрема, поступове підвищення рівнів підземних вод відзначається зменшенням водопритоку в шахту. Зміни режиму підземних вод відбуваються після досягнення рівнів шахтних вод позначки (+20 м), що відповідає відміткам підосви приповерхневого водоносного комплексу.

Для контролю екологічної безпеки мережа спостережних свердловин обладнується в межах зон потенційного підтоплення земної поверхні, положення якої попередньо оцінено та представлено на рис. 5.3.



Рисунок 5.3 – Зони потенційного підтоплення в заплаві р. Самари

Оскільки зона потенційного підтоплення земної поверхні розташована в заплаві річки Самари, то спостережна мережа має бути представлена п'єзометрами (свердловинами), розміщеними на двох профілях. Один з профілів орієнтується уздовж річкової долини, інший - поперек долини. На кожному профілі розміщується по 2-4 п'єзометри. Для цього додатково проектується 8 спостережних свердловин на алювіальний водоносний горизонт

Всі спостережні свердловини мають бути обладнані короткими (3-5 м) фільтрами, розміщеними в алювіальних відкладеннях піщаного складу.

Діаметр спостережних свердловин повинен забезпечувати відбір проб підземних і ґрунтових вод на хімічний аналіз з попередньою відкачкою води малогабаритним насосом не менше 10 об'ємів. Глибина свердловин 10-20 м залежно від конкретного геологічного напарування.

В якості додаткових точок спостережень можуть бути використані колодязі, розташовані в зоні потенційного підтоплення і на суміжних територіях. На

заплавних ділянках слід заміряти рівні в локальних водоймах (старицях), фіксувати абсолютні позначки джерел, їх дебіти.

5.2 Регламент гідрогеологічних спостережень та їх інтерпретація при затопленні шахти

Швидкість підвищення рівнів шахтних вод в гірничих виробках на різних стадіях затоплення шахти може змінюватися від 0,05 м/доб до 5 м/добу, залежно від інтенсивності водопритоку, пустотності і пружної ємності вугленосної товщі. На початковій стадії спостережень (при досягненні рівня затоплення гор. 225 м) слід заміряти рівень підземних вод в водовідливній свердловині щотижня.

При наближенні п'езометричних рівнів шахтних вод в затоплюваних виробках до підосви приповерхневого водоносного (абс. відм. +20 м), швидкість відновлення рівня знижується і регламент спостережень скорочується до 1 разу на місяць. При досягненні рівнів шахтних вод глибин 100-200 м від земної поверхні слід систематично відбирати проби на хімічний аналіз. На початковій стадії спостережень – не рідше одного разу на місяць, у подальшому – один раз на квартал, а при стабільно незначній зміні хімічного складу – один-два рази на рік.

На заключному етапі затоплення шахти (на другій стадії гідрогеологічного моніторингу) контролюється рівневий режим водоносних горизонтів і оцінюються умови підтоплення земної поверхні. Спостереження в зонах потенційного підтоплення земної поверхні (заплава р. Самари) мають починатися до активної зміни рівневого режиму (в перший рік затоплення) для оцінки «фонового» стану приповерхневого комплексу і прогнозу негативних наслідків ліквідаційних робіт. У цей період частота спостережень обмежується щомісячними вимірами рівнів підземних вод на підготовленій додатковій мережі спостережних свердловин. Частота відбору проб на хімічний аналіз води в початковий період - щомісяця, у подальшому при фіксації режиму стабілізації показників - щоквартально.

За результатами моніторингу процесу відновлення рівня підземних вод приймається рішення щодо доцільності реалізації заходів з управління рівневим

режимом приповерхневого водоносного комплексу за альтернативними варіантами 3 або 4 гідрогеологічного прогнозу.

Результати спостережень за динамікою відновлення рівнів шахтних вод оформлюються у вигляді таблиць і графіків. За результатами спостережень співставляються прогнозні і фактичні дані затоплення та за необхідністю корегується регламент моніторингу.

Первинна обробка результатів спостережень за гідродинамічним режимом приповерхневих горизонтів полягає в побудові хронологічних графіків зафіксованих коливань рівнів підземних вод, води в водоймах і водотоках, в складанні карт гідроізогіпс (п'езоізогіпс) на характерні моменти затоплення шахти (меженні та паводкові періоди). Аналіз первинної інформації має бути спрямований також на поточну оцінку виробничої та екологічної безпеки в межах шахтного поля і на суміжних полях.

Аналіз графіків і карт з урахуванням особливостей природно-техногенної і гідрогеологічної будови шахтного поля виконується для оцінки водопровідності водоносного комплексу, інтенсивності його інфільтраційного живлення, ролі водотоку у формуванні режиму підземних вод.

За результатами спостережень за рівнем води в річці і свердловинах, розташованих ортогонально, встановлюється взаємозв'язок приповерхневого водоносного комплексу з поверхневим водотоком.

Комплексна програма моніторингових спостережень з використанням постійно діючої моделі дасть змогу вирішувати питання, пов'язані з удосконаленням спостережної мережі та регламенту спостережень. На підставі моделювання можливе корегування проектних рішень щодо інженерних заходів, які забезпечують екологічну безпеку ліквідаційних робіт. На чисельній моделі оцінюється ефективність цих заходів, визначаються оптимальні параметри водорегулювання.

ВИСНОВОК

При експлуатації вугільного родовища техногенні зміни гідросфери проявляються у формуванні на поверхні мульд осідання, кількісних та якісних порушеннях в експлуатації питних водозаборів, забрудненні ґрунтових вод за рахунок інфільтраційних втрат зі ставків-накопичувачів шахтних вод та ін.

Процес закриття шахти та її затоплення відбувається в умовах змінених меж водообміну, фільтраційних та ємнісних параметрів масиву, осідання земної поверхні та ін. За цих умов актуальними є питання управління гідродинамічним режимом відновлення гідросфери для досягнення екологічної безпеки прилеглих територій.

Територія Західного Донбасу розташована в межах Павлоградського і Петропавлівського районів Дніпропетровської області, де побудовано 11 вугільних шахт.

В геолого-структурному відношенні район приурочений до зони зчленування Дніпровсько-Донецької западини і Українського кристалічного масиву. Основна частина запасів кам'яного вугілля знаходиться в заплави р. Самари на глибинах 120-360 м від земної поверхні.

Для умов Західного Донбасу геолого-структурний фактор є провідним у формуванні природної та техногенної гідродинамічної обстановки. Виходячи з цього, вугільні шахти поділяють на два основних гідродинамічних типи.

Гідродинамічно відкритий, коли водоносні горизонти кам'яновугільних порід мають інтенсивний гідродинамічний зв'язок з поверхневими і атмосферними водами та закритий, що характеризується відсутністю зв'язку водоносних горизонтів кам'яновугільних порід з водами покривних відкладень. В зв'язку з цим вугільні шахти Західного Донбасу умовно поєднуються в дві групи: центральну – «закриту» та східну – «відкриту».

Шахти східної групи відзначаються високими величинами загальношахтних водопритоків до 1153,9 м³/год і не високою мінералізацією шахтних вод до 2-6 г/дм³. Це пояснюється залученням в шахтний водовідлив запасів прісних вод покривних відкладень з величиною водозниження до 30 м.

В умовах багатфакторності та невизначеності параметрів порушеного гірського масиву метод чисельного моделювання залишається чи не єдиним достовірним методом прогнозування гідродинамічного режиму шахтних полів.

Створення чисельних математичних моделей геофільтрації передбачає декілька етапів, серед яких схематизація умов; ідентифікація моделі за фізичною та динамічною аналогією; прогнозні рішення.

Згідно плану гірничих робіт в Західному Донбасі передбачено закриття до 2024 року трьох шахт східної групи, а саме ш. ім. Сташкова, «Степова» та «Ювілейна». Гідродинамічна модель шахтних полів «Сташкова-Дніпровська», що гідродинамічно пов'язані через водоносний комплекс покривних відкладів та гірничі виробки в зоні тектонічного порушення, у вертикальному розрізі являє собою 6-ти шарову товщу, а в плані апроксимована сіткою 80×70 блоків. Модель ідентифікована за динамічною аналогією шляхом відтворення процесу відпрацювання шахтного поля.

За прогнозними розрахунками при затопленні шахти ім. Сташкова зоною потенційного підтоплення і заболочення залишається, як і в доексплуатаційному періоді, заплава річки Самара площею близько $9,75 \text{ км}^2$.

В якості інженерних заходів захисту заплави оцінені варіанти підтримки водовідливу стаціонарними та занурювальними насосами та запропоноване альтернативне рішення будівництва та використання водозабору.

Використання занурювальних насосів для відкачки води зі ствола шахти вище горизонту 140 м має низьку ефективність (до 15 %) з точки зору зменшення площ підтоплення. Підтримка стаціонарного водовідливу на горизонті 225 м дозволяє наблизитися до гідрогеологічної ситуації, характерної на період відпрацювання родовища, проте передбачає довгострокову відкачку мінералізованої шахтної води та її скид у річку Самару.

Запропонований альтернативний варіант захисту заплави шляхом будівництва водозабору з дебітом $150 \text{ м}^3/\text{год}$ в товщі палеоруслових пісковиків, що мають підвищену проникність.

Варіант повного затоплення шахти в моніторинговому режимі обґрунтований як екологічно прийнятний й економічно раціональний. Оскільки зона потенційного підтоплення земної поверхні розташована в заплаві річки Самари, то спостережна мережа має бути представлена свердловинами, розміщеними на двох профілях. Один з них орієнтується уздовж річкової долини, інший - поперек долини.

Упередження витрат коштів на фізичне утримання шахти склало 114,3 млн. грн. та 21,4 млн. грн., відповідно до витрат на роботу головного водовідливу та використання занурювальних насосів .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ретеюм А.Ю., Дьяконов К.И., Куницин Л.Ф. Взаимодействие техники с природой и геотехнические системы. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1972. № 4. С. 46–55.
2. Природа, техника, геотехнические системы / под ред. В. С. Преображенского. М.: Наука, 1978. 151 с.
3. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
4. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.
5. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. М.: Недра, 1989. 287 с.
6. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. Л.: Недра. 1988. 261 с.
7. Гидрогеологические исследования в горном деле /В.А.Мироненко, Ю.А. Норватов, Л.И. Сердюков и др. М.: Недра, 1976. 352 с.
8. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. М.: Наука, 1987. 335 с.
9. Кецко О.Г., Волков С.Н., Кайнов В.И. Оптимизация ресурсопользования на регрессивной стадии техногенеза Липовского месторождения // Известия

Уральской государственной горно-геологической академии. 1996. Вып. 5. Серия: Геология и геофизика С. 158-162.

10. Палкин С.В., Палкин С.С. Разведка и эксплуатация Липовского водозабора при его взаимодействии с выведенным из разработки карьером никелевых руд // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 19-25.

11. Гуман О.М., О.А., Макаров А.Б., Антонова И.А. Геоэкологическая оценка природно-технологических систем на регрессивной стадии техногенеза (на примере месторождения Яман-Касы) // Вестник ОГУ. 2013. №6 (155). С. 99-102.

12. Елохина С.Н. Техноприродные опасности на затопленных рудниках Урала // Изв. ВУЗов «Горный журнал». 2005. № 3. С. 120-127.

13. Рыбникова Л.С. Техногенное воздействие горнодобывающих предприятий Урала на состояние гидросферы // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 1. С. 74-91.

14. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд. Уральского университета. 1991. 255 с.

15. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Горнопромышленная гидрогеология. М.: Недра, 1989. 287 с.

16. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. Л.: Недра. 1988. 261 с.

17. Методические указания по изучению и прогнозу техногенного режима подземных вод при освоении угольных месторождений. / Ч. I. Методика изучения техногенного режима подземных вод при разведке и эксплуатации угольных месторождений. СПб, 1992. 107 с.

18. Садовенко И.А., Тимощук В.И. Исследование геофильтрационного состояния подрабатываемого горного массива на геомеханических моделях // Известия вузов. Геология и разведка. 1991. № 2. С.92-97.

19. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидромеханики. М.: Недра, 1974. 296 с.

20. Геология. Ч. III. Гидрогеология: учебник / А.М. Гальперин, В.С. Зайцев, Г.Н. Харитоненко, Ю.А. Норватов. М.: Издательство «Горная книга». Издательство Московского государственного горного университета, 2009. 397 с.

21. Садовенко И.А., Антропцев А.М., Антонов Ю.И., Тимощук В.И. Природоохранные и гидрогеомеханические аспекты оценки и использования водозащитных свойств горных пород. Известия Днепропетровского горного института: сб. науч. тр. М.: Недра. 1990. С. 126-131.

22. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в нарушенных условиях / В. М. Шестопапов, Н. С. Огняник, Н. И. Дробноход и др. К.: Наукова думка, 1991. 526 с.

23. Удалов И.В. Изменение вертикальной гидрохимической зональности в процессе мокрой консервации угольных шахт // Збірник наукових праць. «Геологія - географія - екологія». Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2011. № 956. С. 77-82.

24. Активізація небезпечних екзогенних геологічних процесів на території України за даними моніторингу ЕГП. Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство. Державний інформаційний геологічний фонд України”, 2013. 98 с.

25. Пасічний В.Г. Геотехногенні основи управління гідросферою при підземному видобутку вугілля: автореф. дис... д-ра техн. наук: спец. 21.00.08, Національна гірнича академія України. Дніпропетровськ, 1997. 34 с.

26. Стан підземних вод України, щорічник Київ: Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2018. 121 с.

27. Різник Т.О., Захарій Н.В. Аналіз еколого-гідрогеологічних проблем розробки родовищ вугілля у басейні Самари засобами ГІС-технологій. Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія Гірничо-геологічна. Випуск 111. Том 1. 2006. С.145-153

28. Евграшкина Г.П. Пруд-накопитель сбросных шахтных вод "Свидовок" в Западном Донбассе и его экологические проблемы. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. 2003. №5. С. 48-53

29. Проект ліквідації вугільних шахт України. Склад і зміст проекту (зі змінами): СОУ 10.1.05400632.1:2004. Офіц. вид. К.: М-во палива та енергетики України, 2004. – 117 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України).

30. P. Goerke-Mallet, M. Drobniowski, Planning long-term mine-water management for the Ibbenbüren coal basin // XV International ISM Congress. Aachen (International Society for Mine Surveying). 2013. pp. 319-324.

31. P. Goerke-Mallet, J. Mersmann, T. Beermann, M. Stöttner, Optimierung der langfristigen Wasserhaltung von Bergbaubetrieben mit Hilfe langer, gerichteter Bohrlöcher und Schauchliner-Technik // Altbergbaukolloquium. Essen: VGE Verlag GmbH. 2014. pp. 163-171.

32. Norvatov Y.A., Petrova I.B., Kotlov S.N., Saveliev D. I. Scientific and methodological principles of the analysis and prediction of hydrogeological conditions of mine abandonment. International mining conference. Vietnam. 2010. pp. 597-600.

33. Sadovenko I., Rudakov D., Podvigina O. Analysis of hydrogeodynamics in a mining region during exploitation till closure of coal mines // New Techniques and Technologies in Mining: School of Underground Mining. 2010. pp. 61-69.

34. Подвігіна О. О. Обґрунтування параметрів дренавання геомеханічно порушених шахтних полів Центрального району Донбасу: автореф. дис ... канд. техн. наук: спец.: 05.15.09 Нац. гірничий ун-т. Дніпропетровськ, 2008. 18 с.

35. Информационный бюллетень. Региональные изменения геологической среды Донбасса в связи с выводом шахт из эксплуатации / Н.И. Беседа, И.М. Ксенда, А.В. Лущик и др. ГПП "Геоинформ". Киев, 1997. 53с.

36. Асиміляційний потенціал геологічного середовища України та його оцінка / С.О. Довгий, В.В. Іванченко, М.М. Коржнев (наук. ред.), М.М. Курило, О.М. Трофимчук та ін. НАН України, Інститут телекомунікацій і глобал. інформ. простору. К.: Ніка-Центр, 2016. 172с.

37. Кодрик А.І., Яковлев Є.О., Чумаченко С.М., Парталіян А.С. Методичні підходи до геоінформаційного аналізу еколого-техногенних загроз для вуглепромислових районів Донбасу (на прикладі ПАО «Лисичанськвугілля» та ДП «Первомайськвугілля») // Математичне моделювання в економіці. 2018. №4.

C. 5-20

38. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на Сході України /Денисов М, Каверін Д, Ющук А, Єрмаков В, Улицький О. та ін. Координатор проектів ОБСЄ в Україні. К.: ВАІТЕ, 2017.– 88 с.

39. Ulytsky, O., Yermakov, V., Buglak, O., & Lunova, O. (2018). Risk of man-made and ecological disasters at the filter stations in the Donetsk and Luhansk regions // *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 27(1), 138-147.

40. Яковлев Є. О. Критичні зміни екологічного стану надр Донбасу // *Мінеральні ресурси України*. 2017. № 3 с. 34-39.

41. Гидрогеологические исследования в горном деле /В.А.Мироненко, Ю.А. Норватов, Л.И. Сердюков и др. М.: Недра, 1976. 352 с.

42. Ромм, Е.С. Фильтрационные свойства трещиноватых горных пород [Текст] /Е. С. Ромм. М.: Недра, 1966. 282 с.

43. Фильчаков П.Ф., Панчишин В.И. Интеграторы ЭГДА, моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге. Киев, 1961. 96 с.

44. Ломидзе Г.М. Фильтрация в трещиноватых породах. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1951. 127 с.

45. Безазьян А.В., Садовенко И.А., Дудля Н.А. Расчет основных параметров противофильтрационных завес для пластовых горизонтов шахт Западного Донбасса // *Шахтное строительство*. 1983. № 7. С.12-14.

46. Гидрогеоэкологический контроль на полигонах закачки промышленных сточных вод (методическое руководство) Под редакцией д.г.-м.н В. П. Ильченко Москва: ООО «ИРЦ ГАЗПРОМ», 2000. 112 с.

47. Buser, M. (2016): Endlagerung radio- und chemotoxischer Abfälle im Tiefuntergrund: Wissenschaftlich-technische, planerisch-organisatorische und strukturelle Schwachstellen – eine Beurteilung vier ausgewählter Fallbeispiele. – INA GmbH Zürich Juni 2016. 59 s

48. Berest P., Brouard B., Feuga B. (2004): Abandon des mines de sel: faut-il envoyer? *Revue Française de Géotechnique*, no. 106-107, 1er et 2ème trimestres 2004.

49. Инструкция по изучению и прогнозированию гидрогеологических условий угольных месторождений при геологоразведочных работах. ВНИГРИУголь, Ростов-на-Дону, 1985. 137с.

50. Сыроватко М.В. Гидрогеология и инженерная геология при освоении угольных месторождений М.: Госгортехиздат, 1960. 499 с

51. Прогнозирование притоков воды в горные выработки шахт Донбасса (методические рекомендации) / Я.И.Зарубинский, Ю.Г. Аземко, А.Б.Минаева и др. / ДонбассНИЛ. Мингео СССР. Ростов-на-Дону, 1975. 25 с.

52. Загриценко А.Н. О влиянии фильтрационных параметров на процесс восстановления уровня подземных вод при затоплении угольных шахт. - Науковий вісник НГА України 2001, №4. - С.35-37.

53. Подвігіна О.О. Обґрунтування параметрів дренавання геомеханічно порушених шахтних полів Центрального району Донбасу: автореф. дис... канд. техн. наук: спец. 05.15.09 «Геотехнічна і гірнична механіка». Національний гірничий університет. Дніпропетровськ. 2008 р. 18 с

54. Гидрогеология СССР. Т. VI. Донбасс. ред. Попов В.С., Соляков И.П., Щеголев Д.И. М.: Недра, 1971. 480 с.

55. Питаленко Е.И., Артеменко П.Г., Педченко С.В., Ягмур А.Б. Время затопления шахт: прогноз и факт Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 1(2007). С. 165-172.

56. А. И. Панишко, А. А. Смыслов, С. В. Педченко Об оптимизации обеспечения гидрогеологической безопасности ликвидируемых шахт Уголь Украины №9, 2014. С 41-43

57. Ягунова, О.А. Спирина И.А., Лгунова О.А. О типизации схем и времени затопления шахт в Кузбассе./Вестник КузГТУ. -2006, -№6, С.56-60.

58. Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Гидрогеологические исследования в горном деле на постэксплуатационном этапе. Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2018. С. №. 4. С. 25–39.

59. Фильчаков П.Ф., Панчишин В.И. Интеграторы ЭГДА, моделирование потенциальных полей на электропроводной бумаге. Киев, 1961. 96 с.

60. Гавич, И.К. Гидрогеодинамика: учебник для вузов / И.К Гавич // Недра, Москва, 1988. 349 с.

61. Рудаков, Д.В. Моделирование в гидрогеологии [Текст]: навч. посібник / Д.В. Рудаков. Д.: Національний гірничий університет, 2011. 88 с.

62. Коносаевский П.К., Соловейчик К.А. Математическое моделирование геофильтрационных процессов: учебн. пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 96 с.

63. Мусин Р.Х., Храмченков М.Г. Введение в численное моделирование геофильтрации: учебно-методическое пособие.. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2019. 41 с.

64. Загриценко А.Н. Параметрическая основа водорегулирования при ведении горных работ в сложных гидродинамических условиях Западного Донбасса / А.Н. Загриценко // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. Том 29 (68) Ч. 2 №1, 2018. С. 122-128.

65. Порядок створення режимної мережі на полях шахт, що погашаються. Вимоги до організації спостережень за режимом підземних вод і експлуатації: ГСТУ 101.16461625.001-2003. Офіц. вид. К.: М-во палива та енергетики України, 2003. 32 с. (Нормативний документ Мінпаливенерго України).

ВІДЗИВ

керівника на кваліфікаційну роботу ступеня магістра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітня програма «Гідрогеологія»), студентки гр. 103м-20-2 Фоменко Катерини Володимирівни «Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт»

Зв'язок завдання на кваліфікаційну роботу з об'єктом діяльності магістра. Завдання на представлену кваліфікаційну роботу безпосередньо пов'язано з об'єктом діяльності магістра за спеціальністю «Науки про Землю» (освітня програма «Гідрогеологія») – дослідження гідродинамічного режиму природно-технічних об'єктів, раціонального використання та охорони підземних вод, освоєння сировинної бази гірничодобувних регіонів на сучасному етапі розвитку.

Актуальність. В умовах переходу України до альтернативних джерел енергії питання закриття і затоплення шахт стає дедалі актуальним. Питання управління гідродинамічним режимом порушеного гірничого масиву за невизначених параметрів проникності і ємності масиву є одним з найскладніших та потребує обґрунтування й адаптації методики прогнозування геофільтраційних процесів в межах шахтних полів.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Робота складається зі вступу, п'ятих розділів, висновку, списку джерел та текстових додатків. Зміст роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК.

Новизна. У роботі встановлені параметри ефективного управління гідро-динамічним режимом підземних вод в умовах закриття і затоплення шахтних полів з урахуванням економічних критеріїв та екологічних обмежень.

Практичне значення результатів. Розроблені методичні підходи створення чисельних моделей шахтних полів є науково-прикладною основою для оцінки та переведення регіону Західного Донбасу в режим безпечного та керованого відновлення підземної гідросфери при закритті і затопленні шахт. Результати гідрогеологічного прогнозу наслідків закриття шахти покладені в основу проекту затоплення гірничих виробок.

Ступінь самостійності виконання. Студентка Фоменко К.В. виконала кваліфікаційну роботу самостійно за допомогою консультацій керівника.

Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. Усі розрахунки в роботі виконані з використанням ПЕОМ для реальних гірничо-технічних об'єктів з урахуванням їх геологічної будови та гідрогеологічних умов. В роботі використані дані щодо розвідки шахтного поля, режимних спостережень за рівнем підземних вод, водопритоків в гірничі виробки, планів гірничих робіт, контурів осідань земної поверхні.

Якість оформлення. Робота написана грамотно, оформлена відповідно до вимог.

Недоліки. Розрахунок гідродинамічно безпечного рівня шахтних вод при роботі геотермальної циркуляційної системи виконано для обмеженої кількості варіантів. Однак це не є критичним, зважаючи на прийняті з певним інженерним запасом значення фільтраційних параметрів.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Фоменко К.В. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Гідрогеологія» (ОКР «магістр») і заслуговує оцінки «добре», а її автор Фоменко К.В. – присвоєння кваліфікації магістр за спеціальністю «Науки про Землю» (освітня програма «Гідрогеологія»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи – 87 балів.

Рецензія

на кваліфікаційну роботу ступеня магістра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітня програма «Гідрогеологія»), студентки гр. 103м-20-2 Фоменко Катерини Володимирівни «Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт»

В умовах оголошеної в світі декарбонізації та переходу на відновлювальні джерела енергії в першу чергу постають питання зменшення гідрогеоекологічних ризиків та ефективного управління процесом відновлення рівнів підземних вод при закритті і затопленні шахт. Тому актуальність обраної теми кваліфікаційної роботи та визначеної проблеми для Західного Донбасу та України не викликає сумнівів.

Представлена робота складається зі вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел. У першому розділі представлений змістовний огляд умов формування техногенного режиму підземних вод в зоні впливу гірничих робіт, критичний аналіз методів прогнозування гідродинамічних змін та способів управління водообміном. У другому розділі систематизовані дані щодо геолого-гідрогеологічної будови вугільного родовища Західного Донбасу, визначені основні фактори обводнення гірничих виробок шахт, обґрунтовані методичні підходи до створення чисельних моделей шахтних полів

В спеціальній частині обґрунтована методика створення геофільтраційних моделей шахтних полів, виокремлені особливості схематизації умов порушеного гірничими роботами гірського масиву та представлена геофільтраційна модель конкретної шахти в Західному Донбасі, що закривається.

Розрахункова частина містить прогноз положення рівнів підземних вод за умов різних схем водорегулювання, а саме роботи стаціонарного водовідливу на верхньому горизонті, управління занурювальними насосами та будівництва водозбору технічної води в продуктивній товщі палеоруслових пісковиків підвищеної проникності. За результатами прогнозних розрахунків обґрунтована найбільш ефективна схема захисту заплави річки від підтоплення.

Запропонована система організації гідрогеологічного моніторингу при закритті шахти з обґрунтуванням регламенту гідрогеологічних спостережень та їх інтерпретації при затопленні шахти.

До недоліків роботи можна віднести відсутність даних щодо ідентифікації моделі реальному об'єкту досліджень, але, зважаючи на складність та багатофакторність процесів в порушеному гірському масиві та представлений об'єм роботи, це не впливає на загальну позитивну оцінку представленої роботи.

Кваліфікаційна робота написана грамотно з використанням технічного стилю мовлення, оформлена відповідно до вимог, має практичну значимість.

Кваліфікаційна робота Фоменко К.В. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми «Гідрогеологія» і заслуговує на оцінку «добре», а її автор Фоменко К.В. – присвоєння їй кваліфікації магістр за спеціальністю «Науки про Землю» (освітня програма «Гідрогеологія»). Рекомендована оцінка кваліфікаційної роботи –87 балів.

Рецензент: доц. каф. геології розвідки родовищ корисних копалин к.г.-м.н., доц.

Ішков В.В.

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра

студента (ки) групи 103м-20-2
(шифр групи)

Фоменко Катерини Володимирівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Аналіз умов формування техногенного режиму підземних вод Західного Донбасу та розробка заходів водорегулювання при закритті шахт»

Науковий керівник: доц. Загриценко А.М.
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Unicheck	
	Оригінальність	73
Схожість	27	

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховання недобросовісних запозичень.

Науковий керівник

доц. Загриценко А.М.

Нормоконтролер

доц. Деревягіна Н.І.

Зав. кафедри

проф. Рудаков Д.В.

_____ (дата)