

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)

студента Салагаєвої Ганни Олександрівни
(ПІБ)

академічної групи 103М-19-2
(шифр)

спеціальності 103 «Науки про Землю»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія
(офіційна назва)

на тему: Гідромеханічні параметри захисних бар'єрних ціликів
вугільних шахт та їхнє технологічне використання
(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	Куцевол М.Л.			
-----------	--------------	--	--	--

Нормоконтролер	Деревягіна Н.І.			
----------------	-----------------	--	--	--

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра**

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Салагаєвій Г.О. академічної групи 103М-19-2
(прізвище та ініціали) (шифр)

Спеціальності 103 «Науки про Землю»

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія

на тему: Гідромеханічні параметри захисних бар'єрних ціликів
вугільних шахт та їхнє технологічне використання

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 16.11.2020 №94 -с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	<i>Аналіз гірничо-геологічної, гідрогеологічної та геомеханічної ситуації на полі шахти "Добропільська"; вимоги до розрахунк бар'єрні цілики біля затоплених виробок.</i>	13.10.2020 р. – 21.10.2020 р.
Спеціальний	<i>Ідентифікація геофільтраційної моделі за результатами розв'язку обернених задач та прогнозна оцінка водопритоків до проєктованої лави; аналіз результатів моделювання геомеханічних і гідродинамічних процесів; обґрунтування параметрів бар'єрного цілика на ділянці проєктованого відпрацювання лави.</i>	21.10.2020 р. – 10.12.2020 р.

Завдання видано

(підпис керівника)

Загриценко А.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

13.10.2020 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

10.12.2020 р.

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Салагаєва Г.О.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Текст: 84 с., табл. 7, рис. 36, джерел 13.

В роботі виконано дослідження умов формування гідродинамічного режиму та геомеханічного стану порушеного гірничими роботами порідного масиву у зв'язку з обґрунтуванням параметрів захисного бар'єрного цілика біля затоплених виробок.

Мета роботи – обґрунтування параметрів бар'єрного цілика біля відпрацьованої і затопленої 1-ї південної лави пласта l_2^1 південного ухилу, які забезпечують безпеку проведення вентиляційного штреку 2-ї південної лави пласта l_2^1 .

Об'єкт досліджень – геофільтраційні та геомеханічні процеси навколо затопленої виробки в порушеному гірничими роботами гірському масиві.

Предмет досліджень – гідрogeomechanical параметри захисного бар'єрного цілика біля затопленої гірничої виробки.

В роботі за результатами геофільтраційного моделювання виконана оцінка водопритоків до ділянки перспективного відпрацювання 2-ї південної лави пласта l_2^1 шахти "Добропільська".

Для визначення параметрів стійкості бар'єрного цілика від прориву води розроблена гідрogeomechanical модель ділянки затопленої 1 південної лави пласта l_2^1 південного ухилу гор. 450 м шахти "Добропільська".

За результатами моделювання обґрунтовані рекомендації щодо безпечного ведення гірничих робіт в зоні впливу затопленої виробки та визначені параметри бар'єрного цілика в умовах невизначеності і багатофакторності змін фільтраційних і ємнісних параметрів техногенно порушеного і затопленого масиву.

Ключові слова: ВУГІЛЬНА ШАХТА, ЗАТОПЛЕНІ ВИРОБКИ, БАР'ЄРНИЙ ЦІЛИК, ФІЛЬТРАЦІЙНІ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Зміст

ВСТУП.....	5
1. АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНОЇ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ ТА ГЕОМЕХАНІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПОЛІ ШАХТИ "ДОБРОПІЛЬСЬКА"	7
1.1 Геолого-гідрогелогічні та гірничотехнічні умови.....	7
1.2 Бар'єрні цілики біля затоплених виробок та вимоги до їх розрахунку	10
1.3 Методика визначення гідрогеломеханічних параметрів бар'єрного цілика.....	13
2. ПРОГНОЗНА ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ ВОДОПРИТОКІВ ДО ОЧИСНИХ ВИРОБОК ПІВДЕННОГО УХИЛУ ГОРИЗОНТА 450 М	15
2.1 Математичне забезпечення геофільтраційної моделі	15
2.2 Обґрунтування розрахункової схеми, початкових і граничних умов чисельної геофільтраційної моделі.....	22
2.3 Ідентифікація геофільтраційної моделі за результатами розв'язку обернених задач	29
2.4 Прогнозна оцінка водопритоків до проєктованої 2-ї південної лави пласта I_2	32
3. АНАЛІЗ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНЦІ ПРОЄКТОВАНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ 2-Ї ЛАВИ ПЛАСТА I_2^1	38
3.1 Математичне забезпечення розрахунку геомеханічного стану порідного масиву.....	38
3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання	42
3.3 Аналіз результатів моделювання геомеханічних і гідродинамічних процесів	47
4. ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАР'ЄРНОГО ЦІЛИКА НА ДІЛЯНЦІ ПРОЄКТОВАНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ 2-Ї ЛАВИ ПЛАСТА I_2^1	53
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	61
Список літератури.....	64
ГРАФІЧНІ ДОДАТКИ.....	66
ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ	81
Додаток А Відзив керівника.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б Рецензія	83
Додаток В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра	84

ВСТУП

Згідно з Інструкцією з безпечного ведення гірничих робіт біля затоплених виробок (НПАОП 10.0-5.27-84) застосовуються два способи забезпечення безпеки від прориву води. Перший – залишення розрахункового бар'єрного цілика між затопленими і проведеними виробками, другий – спуск води із затоплених виробок з виконанням заходів за спеціальним проектом.

Більш детального розгляду для конкретних гірничо-геологічних умов вимагає питання визначення оптимального розміру цілика, що забезпечує, з одного боку, безпеку ведення гірських робіт, а з іншого – повноту виїмки корисної копалини.

В зв'язку з цим метою роботи є обґрунтування раціональних параметрів бар'єрного цілика біля відпрацьованої і затопленої 1-ї південної лави пласта l_2^1 південного ухилу, що забезпечує безпеку проведення вентиляційного штреку 2-ї південної лави пласта l_2^1 шахти "Добропільська".

Об'єкт досліджень – геофільтраційні та геомеханічні процеси навколо затопленої виробки в порушеному гірничими роботами гірському масиві.

Предмет досліджень – гідрогеомеханічні параметри захисного бар'єрного цілика біля затопленої гірничої виробки.

Відповідно до поставленої мети в роботі вирішені наступні завдання:

- виконати аналіз гірничо-геологічної, гідрогеологічної, геомеханічної та гірничотехнічної ситуації навколо затопленої 1 південної лави пласта l_2^1 південного ухилу гор. 450 м шахти "Добропільська";
- виконати оцінку шахтних водопритоків до ділянки перспективного відпрацювання 2-ї південної лави пласта l_2^1 шахти "Добропільська";
- створити гідрогеомеханічну модель для визначення параметрів стійкості бар'єрного цілика від прориву води у затопленій 1 південній лаві пласта l_2^1 південного ухилу гор. 450 м шахти "Добропільська";
- за результатами моделювання і виконаних розрахунків розробити рекомендації щодо безпечного ведення гірничих робіт у затопленій 1-й південній

лаві пласта l_2^1 південного ухилу гор. 450 м шахти" Добропільська "ОСП" ШУ "Добропільське" ПрАТ "ДТЕК Добропіллявугілля".

Методи досліджень – аналіз і систематизація геолого-гідрологічних та гірничотехнічних даних про район досліджень, факторно-діапазонний аналіз, чисельне моделювання фільтраційних і геомеханічних процесів.

При виконанні роботи використані матеріали розвідки і дорозвідки шахтного поля, плани гірничих робіт, схеми вимірів і журнали замірів водопритоків, технічна документація водопроявів по шахті "Добропільська".

Результати досліджень доповідались на восьмій ювілейній міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, яка була присвячена 20-річчю ради молодих вчених дніпропетровської області "Молодь: наука та інновації"

Ключові слова: ВУГІЛЬНА ШАХТА, ЗАТОПЛЕНІ ВИРОБКИ, БАР'ЄРНИЙ ЦІЛИК, ФІЛЬТРАЦІЙНІ І ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ПАРАМЕТРИ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИЙ МОНІТОРИНГ



1 АНАЛІЗ ГІРНИЧО-ГЕОЛОГІЧНОЇ, ГІДРОГЕОЛОГІЧНОЇ ТА ГЕОМЕХАНІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НА ПОЛІ ШАХТИ "ДОБРОПІЛЬСЬКА"

1.1 Геолого-гідрогеологічні та гірничотехнічні умови

За результатами аналізу та систематизації даних про геолого-гідрогеологічні, геомеханічні та гірничотехнічні умови [1 ... 4, 7, 8] ділянки шахтного поля навколо затопленої 1-ї південної лави пласта l_2^1 південного ухилу гор. 450 м шахти "Добропільська" оцінені:

- природні та гірничо-технологічні чинники формування водопритоків в гірничі виробки шахти;
- закономірності раптових водопроявів в шахти району;
- фільтраційні і ємнісні властивості водоносних горизонтів і розділяючих їх слабопроникних шарів;
- фізико-механічні характеристики масиву гірських порід в природному і порушеному стані;
- основні параметри для визначення розмірів бар'єрних ціликів згідно "НАОП 1.1.30-5.08-84. Інструкція щодо безпечного ведення гірничих робіт у затоплених виробках".

У геоструктурному відношенні шахтне поле розташоване в південно-західній частині Кальміус-Торецької улоговини і відноситься до родовищ закритого типу. Простягання кам'яновугільних порід північно-західне з азимутом $300 \dots 330^\circ$, падіння північно-східне з кутами падіння $6 \dots 15^\circ$. Поблизу тектонічних порушень кути падіння порід досягають 45° і на обмежених ділянках залягання слабохвилясте з кутами падіння до 25° .

Порівняно спокійне залягання гірських порід ускладнюється низкою розривних тектонічних порушень, серед яких найбільш великими є Карповський скид, скид № 2, "А", підкид № 1, Добропільський насув.

Разом з наявністю великих тектонічних порушень значно розвинута мережа дрібних тектонічних зон, що негативно позначається на стійкості порід при веденні очисних і підготовчих робіт.

Гірничо-геологічні умови шахти "Добропільська" характеризуються комплексом осадових порід середнього і частиною верхнього карбону, що відносяться до світ C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 і C_3^1 .

Кам'яновугільні відкладення представлені перешаруванням різних за складом і потужністю шарів піщаників, аргілітів і алевролітів з підлеглими їм малопотужними шарами вапняків, вуглистих аргілітів і вугілля.

На розмитій поверхні відкладень карбону залягають відкладення неоген-палеогенового і четвертинного віку.

Розкриття шахтного поля шахти "Добропільська" здійснено чотирма вертикальними стволами, вертикальною вентиляційною свердловиною, а також квершлагами на горизонтах 200, 300 і 450 м.

Схема підготовки поля шахти – панельна з відпрацюванням запасів на власних ухилах. Охорона капітальних панельних виробок здійснюється вугільними ціликами. Порядок відпрацювання пластів в панелях – низхідний.

Для всіх виїмкових ділянок прийнята стовпова система розробки з відпрацюванням запасів одинарними лавами зворотним ходом (від границь панелей до панельних ухилів) і розташуванням виїмкових стовпів за простяганням. Довжини виїмкових стовпів становлять 1600 ... 2200 м, лав – 240 ... 250 м. Порядок відпрацювання ярусів в панелях низхідний без залишення ціликів між суміжними виїмковими стовпами.

Для механізації очисних робіт з урахуванням гірничо-геологічних умов розробки пластів застосовуються високопродуктивні механізовані комплекси типів МДМ і 1МКД-90, обладнані очисними комбайнами РКУ-10 і забійними скребковими конвеєрами типів СП-26У і СП-251.

Спосіб управління покрівлею в очисних забоях – повне обвалення.

Гідрогеологічні умови шахтного поля характеризуються поширенням водоносних горизонтів у відкладеннях четвертинного, неоген-палеогенового і кам'яновугільного віку.

Обводнені піски неоген-палеогенового мають пливунні властивості, широко використовуються для господарсько-питного водопостачання і поповнюють запаси підземних вод кам'яновугільних відкладень. Водоносні горизонти тріщино-пластових вод кам'яновугільних відкладень приурочені до піщаників $k_7Sk_8^H$, L_1Sl_1 , l_5Sl_7 , l_7SM_1 , m_1Sm_2 , m_8Sm_9 і вапняку L_1 і M_5 .

Живлення водоносних горизонтів карбонОВОЇ товщі відбувається, в основному, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів на виходах корінних порід під покривні відкладення і за рахунок гідралічного зв'язку з палеогеновими відкладами.

Вуглевмісні породи (аргіліти, алевроліти, рідше пісковики) характеризуються такими властивостями міцності.

Аргіліт сірого і темно-сірого кольору, горизонтально- і тонкошаруватий, середньої міцності, від малостійкого до вельми нестійкого. Значення межі міцності на стискання в середньому становить – 32 МПа.

Алевроліт сірого, рідше темно-сірого кольору, горизонтально-шаруватий або з неявно вираженою шаруватістю, малої або середньої міцності, від середньостійкого до нестійкого. Значення межі міцності на стискання в середньому становить – 42 МПа.

Пісковик сірого або світло-сірого кольору, дрібнозернистий, рідше середньозернистий і тонкозернистий, середньої міцності і міцний, від середньостійкого до стійкого. Значення межі міцності на стискання в середньому становить – 51 МПа.

1.2 Бар'єрні цілики біля затоплених виробок та вимоги до їх розрахунку

Цілики, що залишаються старих затоплених або загазованих виробок, а також біля границь шахтних полів, називаються бар'єрними. При розрахунку бар'єрних ціликів біля затоплених гірничих виробок дуже важливо встановити достовірність контуру старих робіт. Для цього основні плани гірничих робіт в місцях побудови ціликів перевіряють за даними зйомки і журналами обчислень координат. При відсутності цих даних необхідно будувати границю безпечного ведення робіт (див. Правила безпеки у вугільних і сланцевих шахтах).

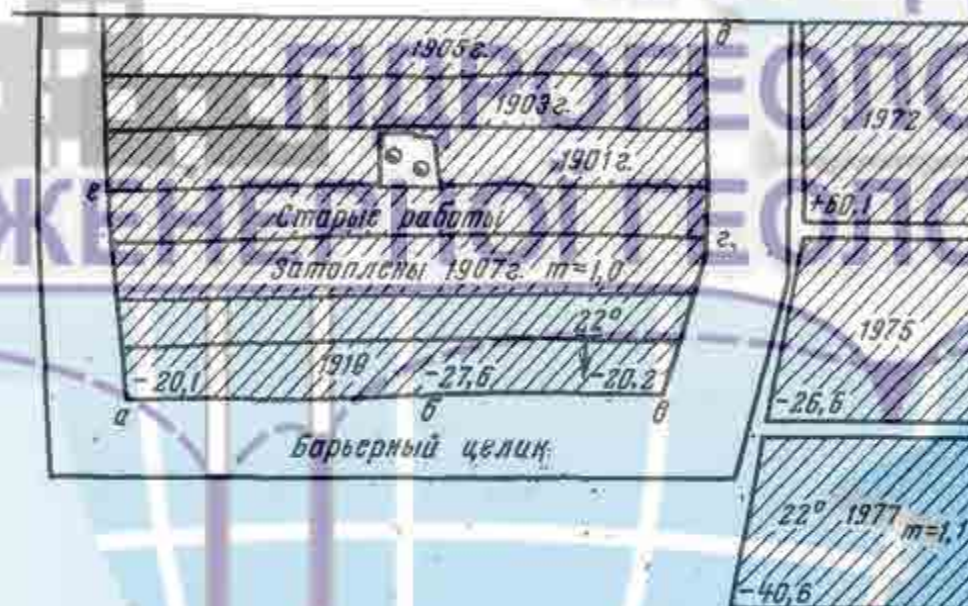


Рисунок 1.1 – Побудова бар'єрного цілика біля старого контуру гірничих робіт

Після встановлення достовірності контуру старих робіт для характерних точок $a, б, в, г, д$ (рис. 1.1.) визначають розміри цілика за формулою

$$d = 5m + 0.05H + 0.002L, \quad (1.1)$$

де d - розмір бар'єрного цілика, м; m - виймальна потужність пласта, м; H - відстань по вертикалі від земної поверхні до бар'єрного цілика, м; L - протяжність

зйомки по затоплених і діючих виробках до точки, для якої визначається цілик, м.

Формула (1.1), отримана В.М. Поляковим за результатами математичної обробки великого числа випадків залишення бар'єрних ціликів в умовах шахт Донбасу для пологих і похилих пластів потужністю до 2 м, що розробляються на глибині до 400 м, рекомендована Правилами безпеки для всіх басейнів (при α менше 30° і потужності пластів до 3,5 м).

При отриманні величини d менш 20 м рекомендується її приймати рівною 20 м.

Для пластів з кутами нахилу від 45 до 70° в Донецькому басейні бар'єрні цілики рекомендується розраховувати за формулами:

- для ціликів, витягнутих по падінню,

$$d = 5m + 0.05H + 0.002L + 10 \text{ м}; \quad (1.2)$$

- для ціликів, витягнутих по простяганню,

$$d = 5m + 0.05H + 0.002L + 20 \text{ м}. \quad (1.3)$$

При кутах падіння від 30 до 45° ширину бар'єрних ціликів визначають інтерполяцією. Необхідність збільшення ширини бар'єрного цілика при похилому і крутому заляганні викликається тим, що зруйноване вугілля у його нижньої межі обсипається вниз, заповнюючи порожнечі. За даними спостережень, ширина зони руйнування досягає 16 м. Виходячи з цього і було прийнято збільшення ціликів, витягнутих по простяганню на 20 м і витягнутих по падінню на 10 м. Для інших вугільних басейнів залишення бар'єрних ціликів в пластах потужністю понад 3,5 м і в пластах з кутами нахилу понад 30° допускається тільки при сприятливих геологічних і гірничотехнічних умовах.

Для охорони від прориву води зі старих затоплених виробок при їх підробці нижче лежачими пластами або надробці вище лежачими пластами при потужності міжпластя менш 40 м в відповідних пластах повинні будуватися і залишатися запобіжні цілики. Побудова ціликів проводиться по кутах зрушення r , y і b відповідно до Правил охорони (рис. 1.2.). При побудові ціликів контур

старих затоплених робіт необхідно збільшувати на 20 м, якщо відстань між пластами менш 20 м.



Рисунок 1.2 – Побудова бар'єрного цілика а) в нижче лежачому пласті б) в вище лежачому пласті

У Донецькому басейні при побудові запобіжних ціликів під затопленими виробками кут зрушення приймають рівним $85^\circ + \alpha$, де α - кут нахилу пласта. Міжшахтні бар'єрні цілики розраховують і будують так само, як і бар'єрні цілики біля затоплених виробок.

Правилами безпеки рекомендується залишати бар'єрні цілики біля незатампованих або небезпечних за проривом води свердловинах. Бар'єрні цілики

для свердловин будують у вигляді кола з центром в місці перетину свердловиною пласта. Радіус кола приймають рівним ширині бар'єрного цілика, розрахованої за формулою (1.1) і збільшеною на $(0,08-0,14)H$ при пологом і похилому заляганні пластів, якщо немає даних про викривлення свердловини (H - глибина свердловини по вертикалі).

1.3 Методика визначення гідрогеомеханічних параметрів бар'єрного цілика

Аналіз нормативів і виконаного відповідно до нього розрахунку бар'єрного цілика [9] між затопленим (виробленим) простором 1-ї південної лави і проєктованим виїмковим стовпом 2-ї лави пласта l_2^l вказують на наявність значного резерву гідрогеомеханічної стійкості цілика.

В роботі авторів НДР [10] обґрунтований модифікований критерій граничного фільтраційного тиску на бар'єрний цілик, який показує, що механізм зсувного впливу напору води не відповідає фактичним даним. В результаті встановлено, що перевищення проєктних (або фактичних) розмірів цілика по відношенню до необхідного досягає десяти разів.

Для оцінки реальної гідрогеомеханічної стійкості бар'єрного (або охоронного) цілика здійснений апробований підхід з використанням апарату чисельного моделювання фільтраційних і геомеханічних процесів з використанням програмних пакетів MODFLOW і PHASE2.

В роботі проведено послідовне моделювання багат шарової планової фільтрації частини шахтного поля, де баланс притоків і відтоків контролюється фактичними даними щодо розподілу шахтних водопритоків. Ця частина роботи містить: 1) епігнозне моделювання (ідентифікація моделі відповідно до реальних умов); 2) прогнозне моделювання розподілів напорів і параметрів фільтрації відповідно до гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов.

Для врахування фільтраційних змін за рахунок геомеханічних порушень побудовані суміщені профільні геомеханічна і фільтраційна моделі. Результати етапів ідентифікації та прогнозного моделювання порівнювалася з планово-просторовим фільтраційними рішеннями. Верифікація моделі проводилася до досягнення прийнятної збіжності з контрольними даними (див. додаток 2, 3).



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

2 ПРОГНОЗНА ОЦІНКА УМОВ ФОРМУВАННЯ ВОДОПРИТОКІВ ДО ОЧИСНИХ ВИРОБОК ПІВДЕННОГО УХИЛУ ГОРИЗОНТА 450 М

Для створення масивів вихідної інформації гідродинамічної моделі проаналізовані карти гіпсометрії поверхні землі, гідрогеологічні карти на різні часові періоди, геологічні та гідрогеологічні розрізи, дані про фільтраційні параметри порід, карти гіпсометрії покрівлі і підшови водоносних горизонтів, відомості про режимні спостереження, дані про водопритокі до гірничих виробок за багаторічний період.

В якості контрольних підготовлені дані про величини водопритоків в гірничі виробки шахти, дані режимних спостережень, дані гідродинамічної зйомки і дані про зміну положення рівня підземних вод в бучакських відкладах.

Для розробки гідрогеомеханічної моделі ділянки бар'єрного цілика біля затопленої 1-ї південної лави пласта l_2^1 систематизовані дані про умови залягання пластів вугілля, які відпрацьовуються, і породних шарів в межах модельованої вуглевмісної товщі, встановлені їх фізико-механічні та фільтраційні властивості, узагальнені відомості про деформаційні і міцнісні показники літологічних різниць вміщаючої товщі, характерних для типових умов Красноармійського вуглепромислового району.

Проаналізовано досвід ведення гірничих робіт біля затоплених гірничих виробок на прикладах шахт ім. Бажанова ДП "Макіїввугілля", ім. "Известий" ДХК "Донбасантрацит", "Краснолиманської", шахт № 10 і № 42 ш / у "Курахівське".

2.1 Математичне забезпечення геофільтраційної моделі

При виконанні досліджень використана реалізована у програмному комплексі MODFLOW 2009 чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою

модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням [1,5,6,14,15]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (2.1)$$

де k_{xx} , k_{yy} і k_{zz} – гідравлічні провідності у напрямку координатних осей X , Y і Z ; (L/T); h – шукана функція напору (L); W – одинична витрата потоку (T⁻¹): для вхідного потоку $W > 0$, для вихідного потоку – $W < 0$; S_s – питома ємність пористого середовища (L⁻¹); t – час (T).

Рівняння (2.1) разом з граничними і початковими умовами описує тривимірний нестационарний потік підземних вод в гетерогенному і анізотропному середовищі за умови, що основні напрямки гідравлічних провідностей співпадають з напрямками координатних осей [3,4,5,12,13].

Для вирішення рівняння (2.1) в чисельній моделі використовується метод кінцевих різностей, для чого виконується дискретизація області фільтрації прямокутною сіткою на окремі розрахункові блоки. В межах кожного блоку існує лише одна точка, яка називається вузловою, і для якої розраховується значення напору.

Параметри сітки визначаються розмірами окремих блоків DEL_R і DEL_C . Колонки блоків нумеруються, починаючи з лівої сторони, рядки пронумеровані починаючи з верхнього краю сітки (в плановому представленні). DEL_R_j – ширина блоків в колонці j . Точно також DEL_C_i – ширина блоків (зверху донизу в плановому представленні) в межах кожного з рядів сітки $NROW$.

Нумерація розрахункових шарів у вертикальному розрізі виконується зверху донизу.

Рівняння в кінцевих різностях для розрахункових блоків області фільтрації має вигляд:

$$CR_{i,j-\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} \left(h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m \right) +$$

$$\begin{aligned}
& + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
& + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
& + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (2.2)
\end{aligned}$$

де $h_{i,j,k}^m$ – напір в блоці i, j, k на часовому кроці $m(L)$; CV , CR и CC – гідравлічні провідності, або провідності в інтервалі між вузлом i, j, k і сусіднім вузлом (L^2/T); $P_{i,j,k}$ – сума коефіцієнтів при напорі, які визначають витрати притока-відтоку в блоці (L^2/T); $Q_{i,j,k}$ – сумарні значення витрат притоку-відтоку (L^3/T): $Q_{i,j,k} > 0,0$ – приток, $Q_{i,j,k} < 0,0$ – відтік; $SS_{i,j,k}$ – питома ємність (L^{-1}); $DEL R_j$ – ширина блоку j -ої колонки у всіх рядах (L); $DEL C_i$ – ширина блоку i -го ряду у всіх колонках (L); $THICK_{i,j,k}$ – вертикальна товщина блоку i, j, k (L); t^m – час на часовому кроці m (T).

Для визначення гідравлічної провідності між вузлами, на відміну від гідравлічної провідності в межах розрахункового блоку, використовується нижній індекс "1/2". Наприклад, $CR_{i,j+\frac{1}{2},k}$ представляє провідність між вузлами i, j, k і $i, j+1, k$.

В умовах стаціонарного потоку ємність постійна, тому права частина рівняння (2.2) прирівнюється до нуля.

Застосування рівняння (2.2) одночасно до всіх блоків модельованої області визначає формування системи рівнянь, рішення якої дозволяє встановити напір у вузловій точці кожного розрахункового блоку.

Для чисельного рішення рівняння (2.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
& CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
& + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} -
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k} h_{i,j,k+} \\
& + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}. \quad (2.3)
\end{aligned}$$

Це рівняння відноситься до часового кроку m , однак параметр часу опущений для спрощення наведеного виразу.

В рівнянні (2.3) $HCOF_{i,j,k}$ містить $P_{i,j,k}$ і складову ємності, яка визначається напором на поточному часовому кроці (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в ліву частину рівняння). $RHS_{i,j,k}$ містить витрату потоку Q (від'ємний знак з'являється через переніс доданка в праву частину рівняння), і частина питомої ємності, яка помножена на значення напору на часовому кроці $m-1$.

Параметри CV , CR і CC та пов'язані зі складовою ємності параметри $HCOF$ і RHS розраховуються в одному пакеті, який називається внутрішнім пакетом потоку.

При розрахунку вертикальної провідності $VCONT$ в MODFLOW використовуються вертикальні гідравлічні провідності k_{zz} і товщини різних гідрогеологічних одиниць (розрахункових шарів) в межах блоків, а розрахунок провідності виконується за формулою:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,j,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (2.4)$$

де $VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}}$ – вертикальна провідність між верхнім та нижнім розрахунковими шарами (1/T), $k_{i,j,k}^z$, $k_{i,j,k+1}^z$, $THICK_{i,j,k}$, $THICK_{i,j,k+1}$ – вертикальні гідравлічні провідності, (L/T), і товщини відповідно верхнього та нижнього розрахункових шарів, (L).

В структурі чисельної моделі при використанні одного пакета параметрів внутрішнього потоку (далі пакета) використовуються пакети характеристик ви-

трат, до яких відносяться живлення в межах модельованої області і на її контурах, інфільтраційне живлення, робота водозабірних і нагнітаючих свердловин та інше.

Кожен пакет, який містить різні джерела живлення або розвантаження, називається пакетом характеристик витрат, при цьому розвантаження розглядається як від'ємне живлення.

Пакет розподіленого по площі живлення використовується для моделювання поповнення запасів підземних вод, як за рахунок інфільтраційного живлення атмосферними водами, так і надходження на поверхню підземних вод притоку з інших джерел площинного характеру. В чисельній моделі пакет вимагає двовимірному масиву значень живлення для кожного блоку сітки в горизонтальній площині і додатково двовимірному масиву для розрахункового шару, де поповнення буде застосовуватися для кожного блоку сітки в горизонтальній площині.

За замовчуванням інфільтраційне живлення в пакеті витрат застосовується до самого верхнього активного (водонасиченого) шару моделі в межах кожного вертикального стовпа розрахункових блоків сітки.

Пакет випаровування моделює ефект транспірації рослин, прямого випаровування і просочування на поверхню землі. Для роботи пакета потрібна інформація щодо величини евапотранспірації і глибини залягання рівня ґрунтових вод, нижче якої випаровування незначне.

Пакет заснований на наступних положеннях: коли рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні або вище поверхні землі (у верхній частині шару 1), витрата від випаровування ґрунтових вод відбувається при максимальній встановленій величині випаровування; при висоті рівня ґрунтових вод нижче глибини можливого випаровування, або під шаром 1, випаровування з поверхні ґрунтових вод відсутнє.

Для врахування впливу поверхневих водних об'єктів на підземні води в чисельній моделі використовується пакет, який дозволяє реалізовувати в розрахунковій схемі модельованої області роботу граничної умови третього роду.

Поверхневі водні об'єкти можуть або сприяти поповненню запасів води в загальній системі підземних вод, не виступаючи в якості зон розвантаження останніх (в залежності від гідравлічного градієнта між поверхнею води в річках і в системі підземних вод), або виступати в якості контурів дренажу підземних вод на ділянці їх гідравлічного взаємозв'язку.

Пакет враховує взаємодію в системі "поверхневі води – підземні води" за рахунок просочування води через шар, що розділяє поверхневий водотік і систему підземних вод. Для роботи пакета в кожному блоці сітки, що містить дану граничну умову, повинна бути задана наступна інформація: відмітка вільної поверхні води в річці; відмітка нижньої частини шару просочування (підруслових відкладень), і числовий параметр провідності, який представляє собою опір потоку між поверхневими і підземними водами через розділяючий шар підруслових відкладень.

Значення провідності може бути розраховане за протяжністю і шириною річки в розрахунковому блоці, потужністю підруслових відкладень і вертикальною провідністю матеріалу русла з використанням наступної формули:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (2.5)$$

де C – провідність, (L^2/T); L и W – відповідно протяжність і ширина річки в розрахунковому блоці, (L); M – потужність підруслових відкладень, (L); K – вертикальна гідравлічна провідність матеріалу русла (L/T).

Завдання граничних умов на контурі модельованої області у випадку значного віддалення реальних джерел живлення і/або розвантаження від контурів досліджуваної ділянки (об'єкта) реалізовано в пакеті, який моделює віддалену границю із забезпеченим живленням ($H = Const$). Потік в/із розрахунковий блок від зовнішнього джерела встановлюється пропорційно різниці між напорами в блоці на зовнішньому контурі моделі і напором на контурі забезпеченого живлення і відстані між ними.

Застосування цієї граничної умови доцільно у тому випадку, коли необхідно уникнути зайвого розширення досліджуваної області для досягнення її кон-

турами елементів, які розташовані поза межами моделі і впливають на напори в розрахункових блоках.

Вплив віддаленої границі із забезпеченим живленням на напори в блоках модельованої області враховується завданням на її контурі величини гідравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D}, \quad (2.6)$$

де $L \cdot W$ – площа перерізу потоку в блоці на зовнішньому контурі модельованої області, (L^2); K – середня гідравлічна провідність водоносного шару в інтервалі між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L/T); D – відстань між контуром моделі і джерелом забезпеченого живлення, (L).

Пакет дренажу в чисельній моделі використовується для врахування ефекту контурного або площинного водозниження, в результаті якого із водоносного шару видаляється вода у кількості, пропорційній різниці між відміткою рівня води у водоносному горизонті і деякою фіксованою відміткою в межах контуру (площі) водозниження. Пакет підтримує тільки можливість відтоку і його робота не має ніякого ефекту, якщо рівень води у водоносному горизонті знижується нижче заданої фіксованої відмітки на контурі стоку.

Для роботи пакета в якості вихідних даних для кожного блоку, який містить цю граничну умову, потрібна наступна інформація: відмітки вільної поверхні води по контуру або площі дрени (при потужності потоку на контурі дренивання, що забезпечує відтік води), провідність на ділянці відтоку, що описує втрати напору між контуром дренивання і системою підземних вод.

Провідність, як числовий параметр, що відображує опір потоку між контуром дренивання і системою підземних вод, розраховується за формулами:

- для провідності на одиницю довжини

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (2.7)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (2.8)$$

де $COND$ – провідність, (L^2/T), $RCHLNG$ – довжина контуру дренивання в ко-

жному осередку сітки, (L); $LCOND$ – провідність на одиницю довжини контуру дренажу в кожному блоці сітки, (L/T); DX – довжина блоку сітки в X -напрямку, (L); DY – довжина блоку сітки в Y -напрямку, (L); $SCOND$ – провідність на одиницю площі дренажу в кожному блоці сітки, (1/T).

Головним компонентом часової дискретизації є часовий крок. Часові кроки групуються в розрахункові періоди, причому, вихідні дані можуть змінюватися в межах кожного розрахункового періоду.

Для кожного розрахункового періоду визначається його повна довжина ($PERLEN$), число часових кроків ($NSTP$) і множник для довжини послідовних часових кроків ($TSMULT$). Таким чином, крок n -го відрізка часу – довжина часового кроку $n-1$ часу $TSMULT$ раз. Тривалість першого часового кроку Δt_1 може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left(\frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (2.9)$$

В нестационарних рішеннях тривалість окремих розрахункових періодів встановлюється у відповідності до набору часових змін розрахункових параметрів моделі і пакетів характеристик витрат.

2.2 Обґрунтування розрахункової схеми, початкових і граничних умов чисельної геофільтраційної моделі

Модель ділянки шахтного поля шахти "Добропільська" відображає гідродинамічну і гірничотехнічну ситуацію південної ухильної частини зближених пластів l_3 і l_2^l на горизонті 450 м за станом на 2018 р

Ця ділянка досліджень розміром 2000×2500 м апроксимована в плані сітчастою областю з кроком 50×50 м. У кожній вузловій точці сітки відображена гіпсометрія пластів (табл. 2.1), фільтраційні і ємнісні параметри водоносних горизонтів і поділяючих товщ (табл. 2.2, 2.3), згідно з даними [5, 6], початкове положення рівня підземних вод.

Згідно геологічною будовою і відомостями про гідрогеологічні умови область фільтрації в вертикальному розрізі схематизована 11-ю розрахунковими шарами, які включають такі водоносні горизонти і слабопроникні шари (рис. 2.1):

Шар 1 - водоносний горизонт неоген-четвертинних відкладень;

Шар 2 - усереднена товща з перешаруванням аргілітів і алевролітів, пісковиків, вапняків, вугілля в процентному співвідношенні 79:18:1:2;

Шари 3, 5 - водоносні пісковики;

Шар 4 - слабопроникна аргіліт-алевролітова товща;

Шари 6, 9 - слабопроникні пласти аргілітів;

Шари 7, 10 - водопроникні вугільні пласти l_3 і l_2^1 , відповідно;

Шари 8, 11 - слабопроникні пласти алевролітів.

Таблиця 2.1 – Абсолютні позначки денної поверхні і підшови

Номер свердловини	вугільних пластів		
	Абсолютні відмітки, м		
	денна поверхня	підшови пласта l_3	підшови пласта l_2^1 ,
980	194,90	-120,00	-135,30
НД	190,00	-120,50	-136,90
343	196,50	-155,00	-176,70
НТ 354	188,90	-159,00	-166,30
N 1036	185,90	-	-188,60
НД 566	185,40	-	-114,20
НД 53	198,00	-233,70	-227,30
10065	193,80	-224,50	-244,60
556	190,20	-322,90	-339,80
НД 561	183,10	-317,00	-337,90
НД 562	175,80	-313,40	-333,80
НД 531	173,40	-325,30	-343,00

Номер свердловини	Абсолютні відмітки, м		
	денна поверхня	підшва пласта l_3	підшва пласта l_2^1
НД 547	164,10	-381,70	-397,90
НД 542	186,60	-400,40	-423,60
10135	180,90	-413,60	-437,20
11169	174,20	-405,00	-430,60
10134	167,90	-403,50	-424,20

Таблиця 2.2 – Початкові значення фільтраційних параметрів моделі

Коефіцієнт фільтрації (K_f), м/добу	Вапняк	Пісковик	Вугілля	Аргіліт и алевроліт	Середньозважений коефіцієнт фільтрації по осях X і Y, в дужках по осі Z
Склад товщі, %	1	18	2,0	79	
Вугленосна товща, глибина від підшви покривних відкладень 50 - 150 м					
Діапазон значень (K_f), м/добу	2,0	0,3	0,3	0,005	0,077 (0,006)
	0,25	0,3	0,3	0,005	0,066
Вугленосна товща, глибина від підшви покривних відкладень 150 - 300 м					
Діапазон значень (K_f), м/добу	0,75	0,1	0,1	0,003	0,028 (0,004)
	0,20	0,1	0,1	0,003	0,024
Вугленосна товща, глибина від підшви покривних відкладень 300 - 500 м					
(K_f), м/добу	0,2	0,04	0,07	0,002	0,011 (0,0025)
(K_f), м/добу					0,007 (0,0013)

Таблиця 2.3 – Початкові значення ємнісних параметрів моделі

Розрахункові слої	Гравітаційна ємність	Пружна ємність
Покривна товща (1 розрахунковий шар)	0,2	10^{-3}
Кам'яновугільна товща (2...11 розрахункові шари)	0,001	$8 \cdot 10^{-7} \dots 10^{-5}$

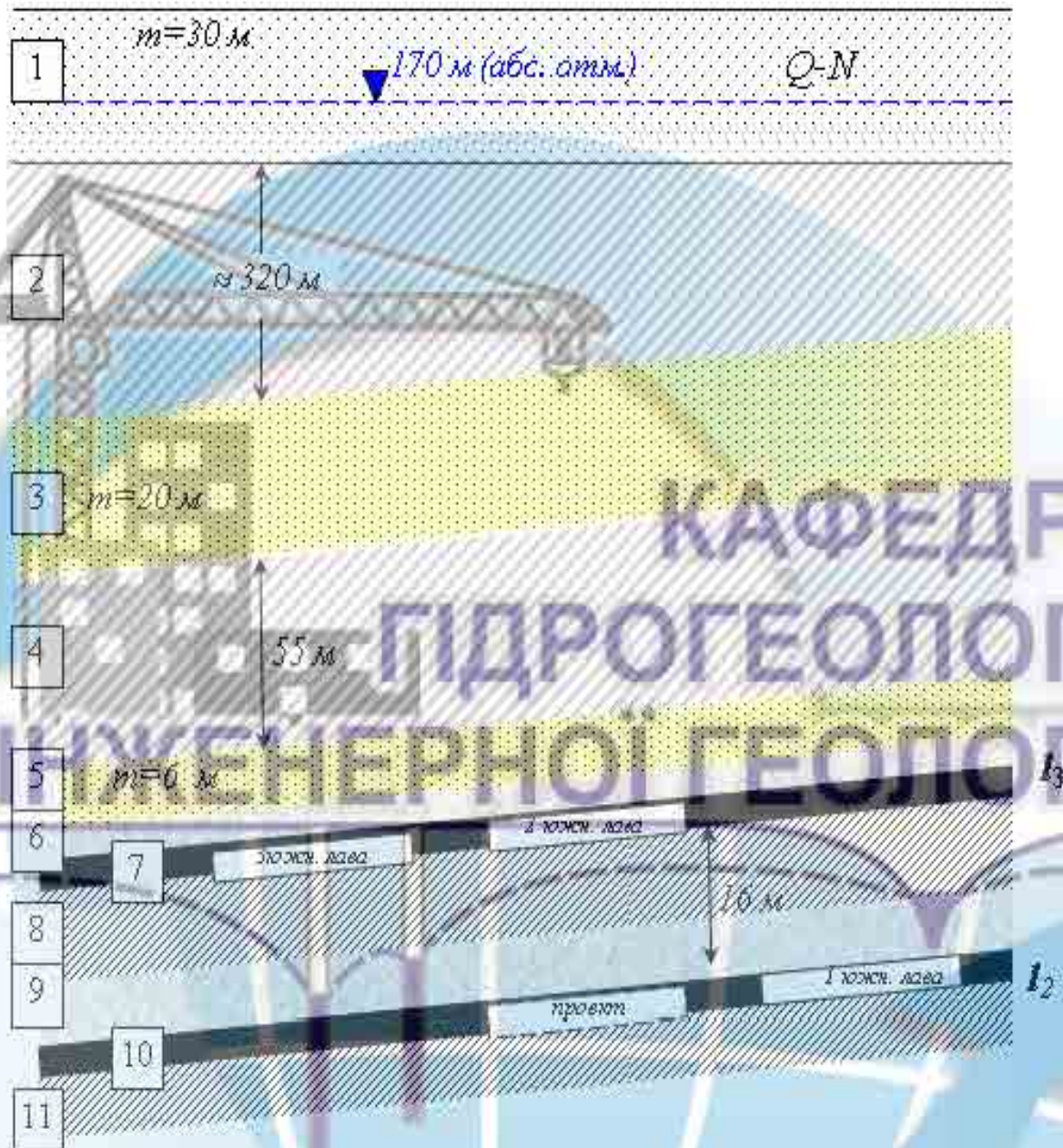


Рисунок 2.1 – Схематичний розріз моделюючої товщі

В якості зовнішніх гідродинамічних меж першого розрахункового шару неоген-четвертинних відкладень задані кордони третього роду з забезпеченим живленням ($H=const$), що відображає загальний характер живлення і розвантаження потоку підземних вод на досліджуваній ділянці. Величини напорів на контурі моделі прийняті відповідно до встановлених розвідувальним бурінням

відміток рівнів води і змінюються в межах 147 ... 178 м. Потужність водоносного комплексу становить 10 м.

Граничні умови карбонової товщі (розрахункові шари 2..11) однотипні, і на північному кордоні задані у вигляді найвіддаленішої межі третього роду ($H=const$), що характеризує вихід відкладень під покривну товщу з величинами напорів 162 ... 178 м.

Провідності на зовнішніх контурах розрахункових шарів визначені виходячи з усереднених значень їх фільтраційних характеристик (табл. 2.2) в межах модельованої області (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Параметри гідродинамічних меж на контурах розрахункових шарів модельюючої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність блоку, м ² /добу
Шар 1 – піщані ґрунти	147,00 ... 178,00	0,3
Шар 2 – перешарування аргілітів і алевролітів, пісковиків, вапняків, вугілля	162,00 ... 178,00	0,024 ... 0,033
Шар 3 – пісковик	162,00 ... 178,00	0,04
Шар 4 – піски різнозернисті	162,00 ... 178,00	0,03
Шар 5 – пісковик	162,00 ... 178,00	0,013
Шар 6 – аргіліт	162,00 ... 178,00	0,00015
Шар 7 – вугільний пласт l_3	162,00 ... 178,00	0,0042
Шар 8 – алевроліт	162,00 ... 178,00	0,0056 ... 0,009
Шар 9 – аргіліт	162,00 ... 178,00	0,00032
Шар 10 – вугільний пласт l_2^1	162,00 ... 178,00	0,0053
Шар 11 – алевроліт	162,00 ... 178,00	0,00043

Внутрішні кордони моделі - це гірничі виробки пластів l_3 і l_2^I , є контуром дренажу ($H=const$) з заданим зниженням рівня підземних вод на позначці підлоги вугільних пластів (розрахункові шари 7 і 10).

Представлена схема моделі дозволяє врахувати гідравлічний зв'язок вугленосної товщі карбону і покривних відкладень, а також кількісно оцінити порушений режим підземних вод відпрацьованої і запроектованої до відпрацювання південної ухильної частини шахтного поля. Тобто схематизація гідрогеологічних умов підпорядкована вирішенню практичних завдань, сформульованих в технічному завданні НДР.

Особливість поставленого завдання полягає в тому, щоб оцінити водний баланс на локальній ділянці шахтного поля, гідродинамічна ситуація на якому визначається умовами відпрацювання зближених (18 ... 22 м) вугільних пластів l_3 і l_2^I в зоні впливу затоплених виробок.

Пласт l_3 в південній похилій частині відпрацьовувався в період 1959-1992 рр. У 2017-2018 роках відпрацьована 3-тя південна лави (рис. 2.1 і 2.2) з залишенням цілика шириною до 37 м біля затоплених гірничих виробок 2-ї південної лави (1991-1993 роки відпрацювання). При відпрацюванні лави в таких умовах водопрояви фіксувалися лише з покрівлі пласта на окремих ділянках у вигляді капежу.

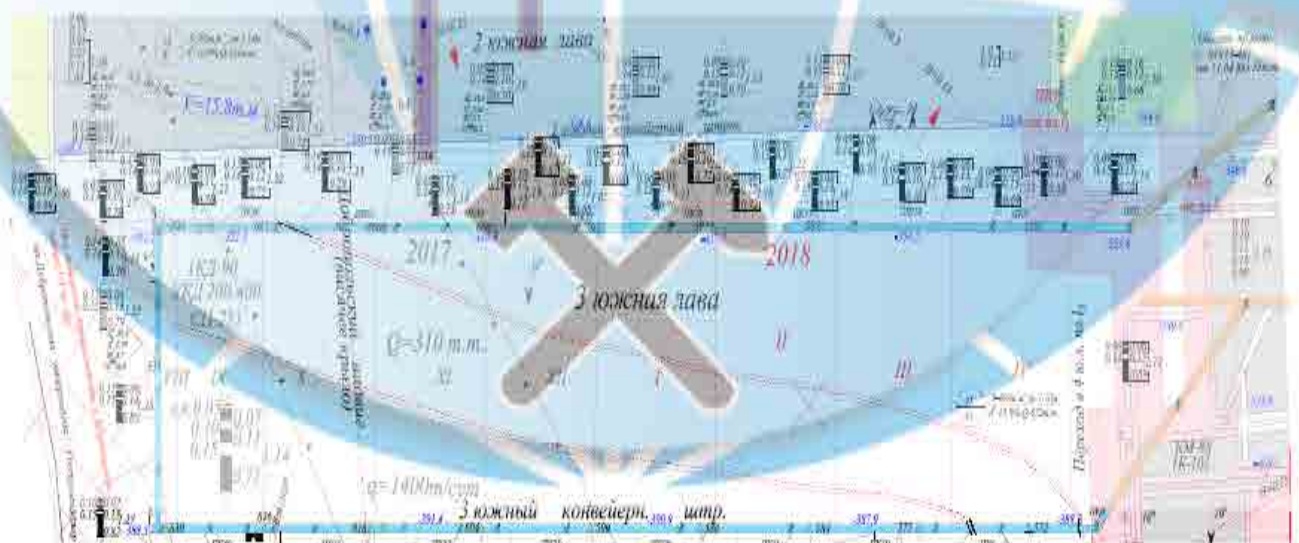


Рисунок 2.2 – Виполювання з плану гірничих робіт по пласту l_3

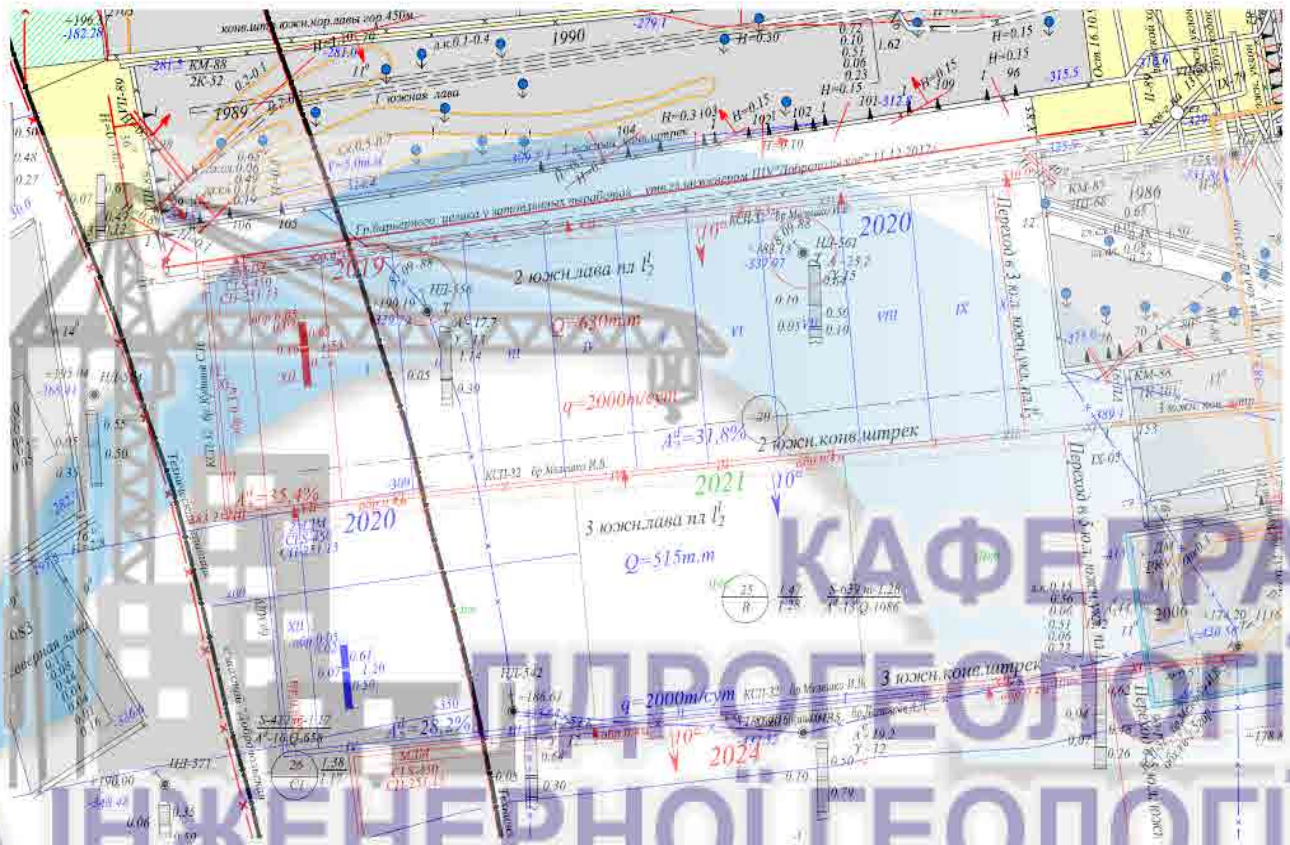


Рисунок 2.3 – Викопіювання з плану гірничих робіт по пласту l_2^I

Південна ухильна частина пласта l_2 відпрацьовувалася в період з 1969 по 1990 роки, а 1-я південна лава на горизонті 450 м відпрацьована 1989-1990 рр. (Рис. 2.1 і 2.3) з водопроявів у вигляді капежа, і струменів, і водоприток до $1,0 \text{ м}^3/\text{год}$. З 2005 року конвеєрний штрех ізольований, очисні і підготовчі виробки затоплені, а доступ до них відсутній. На період до 2005 року спостерігався водоприток з витратою до $20 \text{ м}^3/\text{год}$.

Станом на серпень 2018 року в водозбірник флангового ухилу надходить приток води з південного боку пласта l_2^I – $15 \text{ м}^3/\text{годину}$, пласта l_3 – $7 \text{ м}^3/\text{годину}$.

Описана гідродинамічна ситуація відтворена на моделі з метою її ідентифікації і встановлення ємнісних і фільтраційних параметрів порушеного гірничими роботами масиву.

2.3 Ідентифікація геофільтраційної моделі за результатами розв'язку обернених задач

За результатами розв'язку обернених задач нев'язка балансу геофільтраційної моделі не перевищує 1,48 м³/добу, похибка збіжності загального балансу становить 0,02%.

Величини модельних і фактичних водопритоків на розрахункові періоди часу наведені в табл. 2.4. Згідно з цими даними відмінність численних рішень по величинам розрахункових і фактичних водопритоків не перевищує 4,6 м³/год.

Таблиця 2.4 – Відповідність геофільтраційної моделі за результатами розв'язку обернених задач

Розрахунковий період	Водоприток, м ³ /годину	
	Модельні	Фактичні
1992-2017 рр. - 1 і 2 південні лави пластів l_2^1 і l_3 , відповідно (стаціонарний режим фільтрації)	$l_2^1(1) = 12,5$ $l_3(2) = 11,9$ $Q_{\text{сум}} = 24,4$	$Q_{\text{сум}} = 20$
2017-2018 рр. - відпрацювання 3-ї південної лави пл. l_3 (нестационарний режим фільтрації)	$l_2^1(1) = 11,6$ $l_3(2) = 1,9$ $l_3(3) = 21,1$ $Q_{\text{сум}} = 34,6$	$l_2^1 = 15$ $l_3 = 7$ $Q_{\text{сум}} = 30$

Модель ідентифікована до реальних умов з параметрами водопровідності для відпрацьованого простору лав $km = 0,08 \dots 0,1$ м²/добу, гравітаційної ємності завалених порід $\mu = 0,3$ і величиною пружної водовіддачі $\mu^* = 10^{-5}$.

При вирішенні зворотних задач контури відпрацьованих лав задавалися у вигляді дрен з розрахунковою провідністю породного матеріалу в межах розрахункового блоку моделі $10 \text{ м}^2/\text{добу}$, що відповідає величині фільтраційної проникності $0,004 \text{ м/добу}$.

Розрахунковий розподіл гідралічних напорів по пласту l_2^1 , отриманий за результатами розв'язку обернених задач, наведено на рис. 2.4 і 2.5.

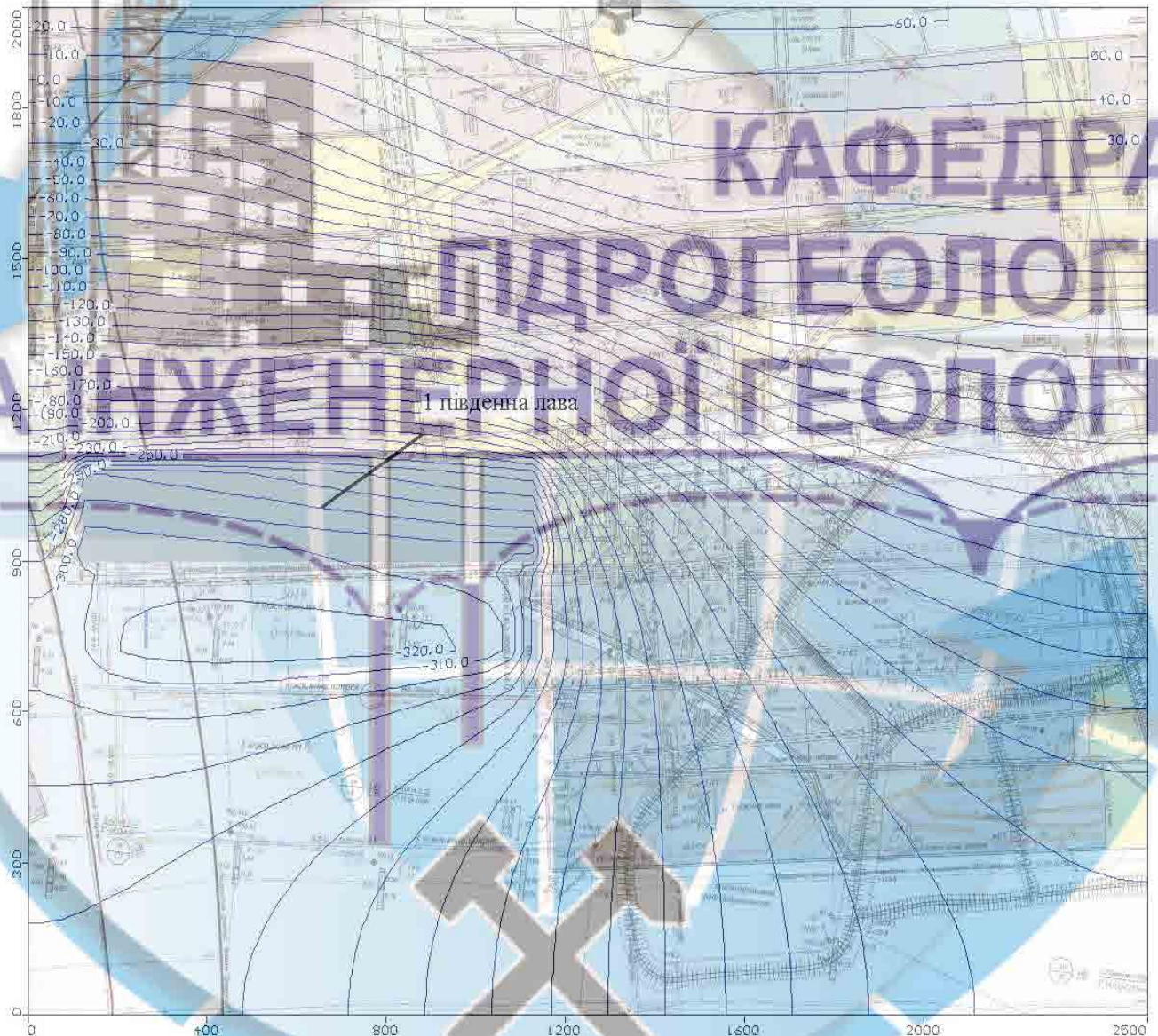


Рисунок 2.4 - Розподіл гідралічних напорів по пласту l_2^1 станом на 2017 рік за результатами розв'язку обернених задач, м

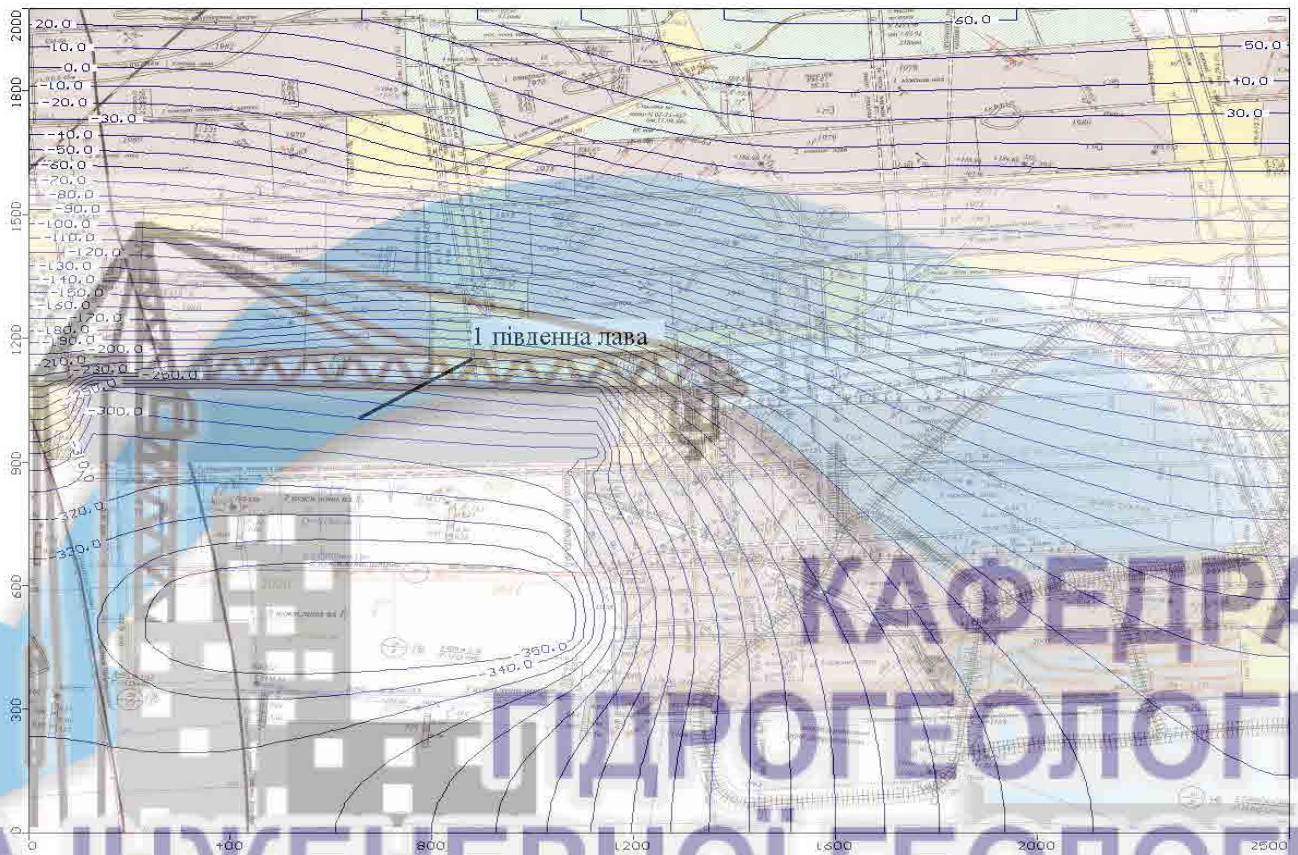


Рисунок 2.5 - Розподіл гідравлічних напорів по пласту l_2^1 станом на 2018 рік після відпрацювання 3-ї південної лави пласта l_3 - за результатами розв'язку обернених задач, м

За результатами епігнозного моделювання встановлені закономірності гідродинамічного режиму, характерні для порушеного гірничими роботами породного масиву в області планового відпрацювання 2-ї лави пласта l_2^1 :

- відпрацьовані раніше в межах південного ухилу 1 і 2 південні лави по пластах l_2^1 і l_3 , продовжують надавати дренальний вплив на вуглепородний масив, створюючи знижені значення напорів в межах відпрацьованих ділянок гор. 450 м;

- величини напорів в межах затопленої зони (7 ... 13 м) формують водопитоки в межах 20 ... 30 м³/годину і визначаються особливостями водовідведення в умовах складного похилого залягання вугільних пластів. При цьому формується локальний підпір на гіпсометрично знижених ділянках виїмкових стовпів;

- фільтраційні параметри порушених гірських порід в межах відпрацьованих ділянок шахтного поля характеризуються близькими до природних значень, що пояснюється їх гравітаційним ущільненням протягом 25 ... 29 років, що минули з часу відпрацювання 1-ї та 2-ї південних лав пластів l_2^1 та l_3 .

2.4 Прогнозна оцінка водопритоків до проектованої 2-ї південної лави пласта l_2^1

Прогнозне моделювання передбачало кількісну оцінку величин водопритоків при відпрацюванні 2-ї південної лави в зоні впливу виїмкового стовпа затопленої 1-ї південної лави пласта l_2^1 при наступних варіантах рішень:

- відпрацювання проектованої 2-ї південної лави при наявності проектного бар'єрного щілика [9] з боку затоплених виробок раніше відпрацьованої 1-ї лави пласта l_2^1 (рис. 2.6);

- відпрацювання проектованої 2-ї південної лави при відсутності бар'єрного щілика з боку затоплених виробок раніше відпрацьованої 1-ї лави пласта l_2^1 (рис. 2.7).

Оцінка водопритоків до проектованої 2-ї південної лави виконана в умовах загального дренажного впливу відпрацьованих 2-ї і 3-ї південних лав пласта l_3 при величині гравітаційної водовіддачі порід зони обвалення, що дорівнює 0,3, що збігається з коефіцієнтом затоплення виробленого простору 1-ї південної лави пласта l_2^1 і підтверджено результатами епігнозного моделювання.

Моделльні розрахунки виконані для умов нестационарного режиму фільтрації при середньому планованому посуванні забою 2-ї південної лави 100 м. в місяць.

Результати прогнозних розрахунків водопритоків, що формуються до відпрацьованого поля виїмкового стовпа 2-ї південної лави пласта l_2^1 , для розглянутих варіантів наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.6 - Положення відпрацьованої 1-ї південної (1) і проектованої 2-ї південної (2) лав по пласту l_2^1 при наявності бар'єрного цілика

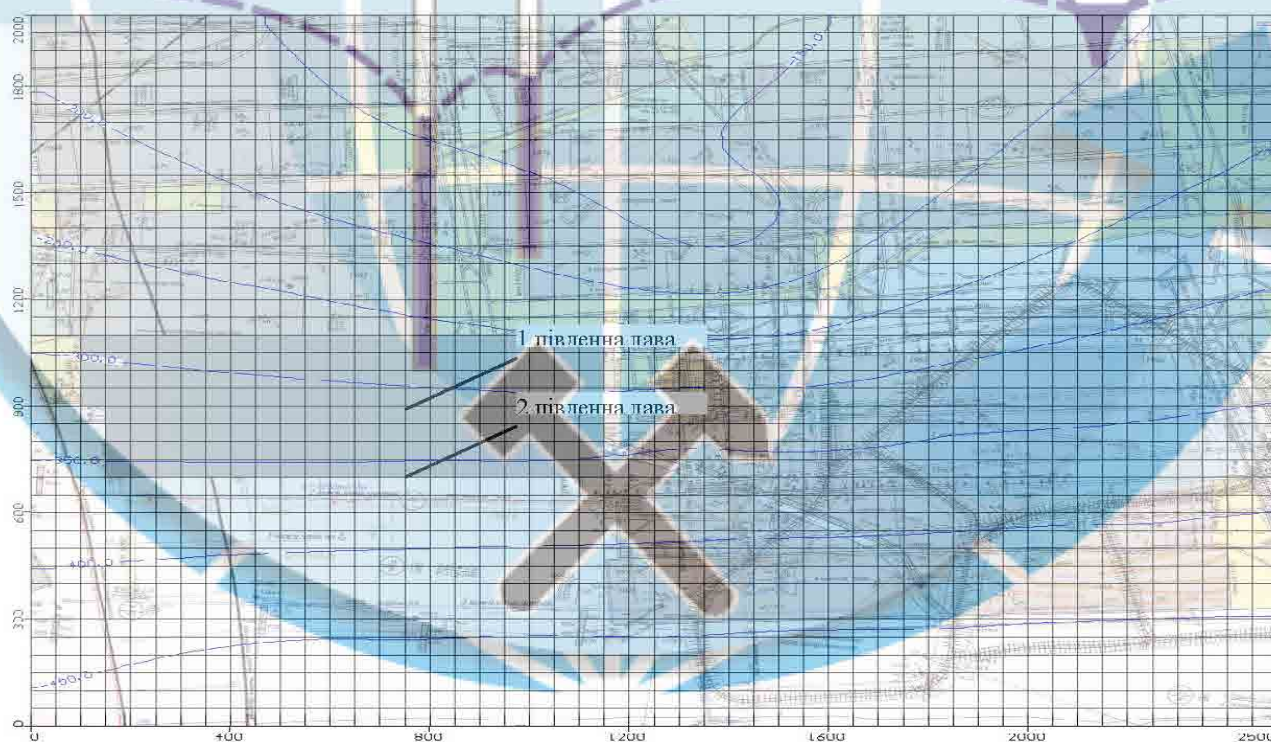


Рисунок 2.7 - Положення відпрацьованої 1-ї південної і проектованої 2-ї південної лав по пласту l_2^1 при відсутності бар'єрного цілика

Таблиця 2.5 – Прогнозні величини водопритоків до проектованої 2-ї південної лави пласта l_2^I на розрахункові періоди часу

Розрахунковий період, доба	Загальний приток по пластам l_2^I та l_3 , м ³ /годину	Водоприток до 2-ї південної лави пласта l_2^I , м ³ /годину			
		загальний приток до лави		в тому числі з боку відпрацьованого поля 1-ї південної лави	
		з ціликом	без цілика	з ціликом	без цілика
30	37,23...36,41	3,72	2,88	0,65	0,39
60	38,72...37,30	6,21	4,74	0,69	0,45
90	39,57...37,77	7,91	6,02	0,73	0,51
120	40,04...37,98	9,10	6,94	0,76	0,56
150	40,25...38,03	9,96	7,60	0,80	0,62
180	40,31...37,98	10,62	8,12	0,84	0,68
210	40,28...37,88	11,16	8,57	0,89	0,75
240	40,16...37,72	11,65	8,98	0,94	0,82
270	39,88...37,51	12,27	9,54	1,01	0,90
300	40,03...37,88	14,07	11,18	1,16	1,03

Як видно з таблиці 2.5, формування водопритоків до проектованої 2-ї лави пласта l_2^I при наявності бар'єрного цілика відбуватиметься переважно за рахунок ємнісних запасів в покрівлі вугільного пласта і частково - притоку через бар'єрний цілик з боку відпрацьованої 1-ї лави пласта l_2^I .

Прогнозний характер рівної поверхні в межах розглянутої області на період початку відпрацювання 2-ї південної лави (розрахунковий період 1 місяць) і закінчення ведення очисних робіт (розрахунковий період 10 місяців) для варіантів рішень ілюструється рис. 2.8 ... 2.11.

Згідно виконаним оцінками величини водопритоків до проектованої лави змінюються протягом всього періоду ведення очисних робіт (10 місяців) від

3,72 до 14,07 м³/годину при наявності бар'єрного цілика і від 2,88 до 11,18 м³/годину - при його відсутності (підготовчий штрек проведено "в присічку" аналогічно 1-й південній лаві). При цьому притоки з боку відпрацьованого виїмкового стовпал-ї лави пласта l_2^1 для розглянутих варіантів становлять відповідно 0,65 ... 1,16 і 0,39 ... 1,03 м³/годину.

Знижені значення прогнозних водопритоків, формування яких відбувається з боку поля 1-ї лави пласта l_2^1 при відсутності бар'єрного цілика, пояснюються низькими значеннями гідравлічних напорів, що формуються на контурі південного конвеєрного штреку відпрацьованої лави під впливом чинного водовідливу і особливостей похилого залягання вугільного пласта.



Рисунок 2.8 - Прогнозний розподіл гідравлічних напорів по пласту l_2^1 на момент початку відпрацьовання 2-ї південної лави (розрахунковий період 1 місяць) при наявності бар'єрного цілика, м

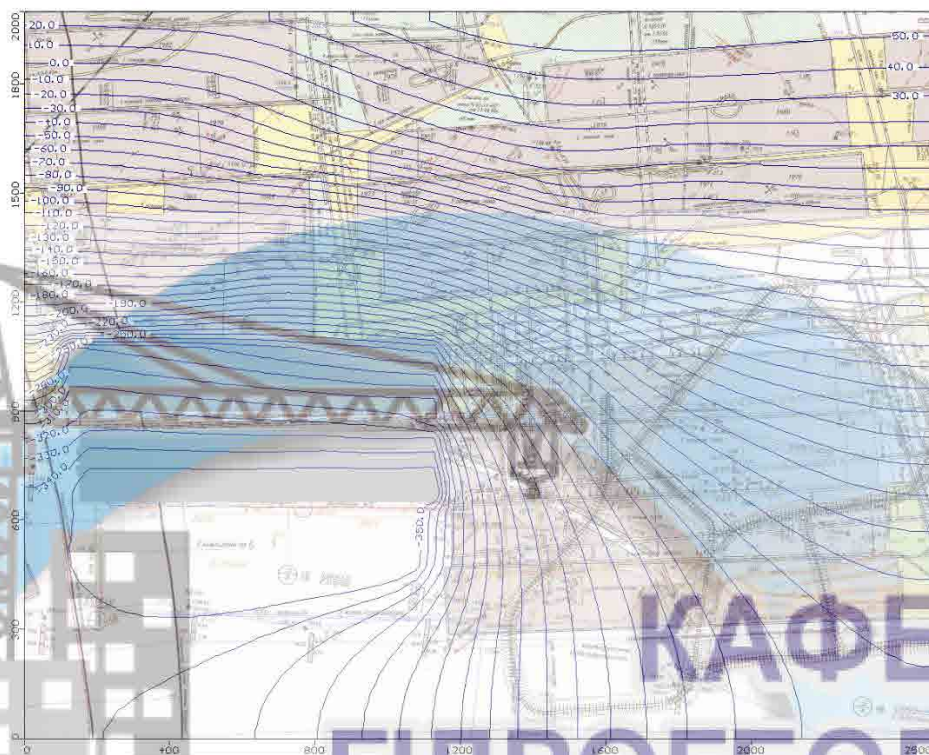


Рисунок 2.9 - Прогнозний розподіл гідравлічних напорів по пласту l_2^1 на момент початку відпрацювання 2-ї південної лави (розрахунковий період 10 місяців) при наявності бар'єрного цілика, м

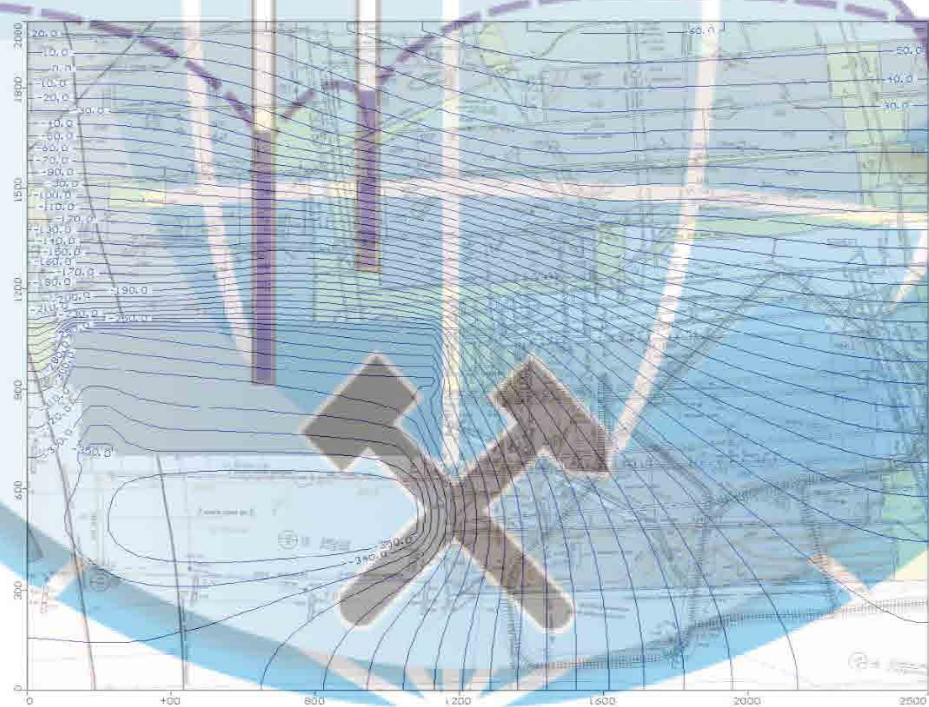


Рисунок 2.10 - Прогнозний розподіл гідравлічних напорів по пласту l_2^1 на момент початку відпрацювання 2-ї південної лави (розрахунковий період 1 місяць) при відсутності бар'єрного цілика, м



Рисунок 2.11 - Прогнозний розподіл гідравлічних напорів по пласту l_2^1 на момент початку відпрацювання 2-ї південної лави (розрахунковий період 10 місяць) при відсутності бар'єрного цілика, м

Результати прогнозного моделювання показують, що при відпрацюванні проектованої 2-ї південної лави без бар'єрного цілика при встановленому обмеженому обсязі гравітаційної води в затоплених виробках поля 1-й південної лави не очікується формування водопритоків більше $15 \text{ м}^3/\text{год}$. Це обумовлено тим, що навіть при відносно високій величині гравітаційної водовіддачі порядку 0,3 (відносний обсяг заповнення завалених порід у виробленому просторі) швидкість вивільнення води з порід виробленого з обваленням покрівлі простору стримується фільтраційним опором порушених порід і перешкоджає одночасному надходженню обсягів води більше $15 \text{ м}^3/\text{годину}$ до підготовчої та очисної виробок проектованої лави.

3. АНАЛІЗ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНЦІ ПРОЕКТОВАНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ 2-Ї ЛАВИ ПЛАСТА l_2^I

Напружено-деформований стан порід бар'єрного (або охоронного) цілика в зоні впливу затоплених виробок залежить від розмірів цілика і властивостей вміщуючих породного масиву і визначає його фільтраційну проникність, а відповідно і величини водопритоків. Тому спільне рішення гідродинамічних і геомеханічних задач оцінки геомеханічного стану його експлуатації в умовах поза межних деформацій виконано на профільній моделі ділянки шахтного поля. При цьому використані результати рішень задач планової фільтрації по формуванню поля напорів навколо гірничих виробок (п. 2).

3.1 Математичне забезпечення розрахунку геомеханічного стану порідного масиву

Для оцінки геомеханічного стану ... застосована реалізована у програмному комплексі PHASE2 деформаційна пружно-пластична модель середовища з внутрішнім тертям, яка поєднує дві теорії, на яких базується сучасна механіка гірських порід: теорію пружності і теорію граничного стану [12,13,16].

Математичний апарат методу кінцевих елементів, який використовується у моделі, дозволяє звести задачу інтегрування диференціальних рівнянь аналітичної постановки до рішення системи лінійних рівнянь, що апроксимують модельовану область набором найпростіших функцій.

Процедура чисельного рішення в методі кінцевих елементів заснована на передумові силової взаємодії між елементами модельованої області тільки у вузлових точках. При цьому умова безперервності середовища задовольняється нерозривністю вузлових зв'язків між елементами. Деформування елементів обумовлене прикладанням з боку сусідніх елементів чи зовнішніх впливів вузлових сил F_i, F_j, F_k , кожна з яких розкладається на дві складові уздовж коор-

динатних осей. Залежність шести компонентів вузлових сил від шести компонентів вузлових переміщень встановлена виходячи з відомого в будівельній механіці принципу можливих переміщень: при нескінченно малому переміщенні вузлових точок робота вузлових сил повинна дорівнювати роботі внутрішніх напружень.

Результатом чисельного рішення є встановлення переміщень вузлів моделі виходячи з заданих вузлових сил, обумовлених зовнішнім навантаженням і власною вагою елементів моделі. За встановленими значеннями переміщень розраховуються осьові і головні деформації і відповідні їм напруження.

У скороченій формі рівняння кінцевих елементів може бути представлено у вигляді:

$$[K]\{a\} = \{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\}, \quad (3.1)$$

де $[K]$ – матриця жорсткості; $\{a\}$ – вектор вузлових переміщень; $\{F\}$ – вектор вузлових навантажень; $\{F_b\}$ – власна вага ґрунту; $\{F_s\}$ – сили поверхневого тиску; $\{F_n\}$ – зосереджена вузлова сила.

Матриця жорсткості визначається наступним чином:

$$[K] = \int_v [B]^T [C] \cdot [B] dv, \quad (3.2)$$

де $[B]$ – матриця "напруження-деформації"; $[C]$ – матриця пружності.

Вектор деформацій визначається з наступного виразу:

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad (3.3)$$

де u, v – вузлові переміщення в напрямках по осі X і Y відповідно.

Вектор деформації також визначається складовими:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.4)$$

Для завдання плоскої деформації ε_z дорівнює нулю, і матриця деформацій має вигляд:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3.5)$$

Відповідно до теорії пружності основна формула залежності напружень і деформацій має вигляд:

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \quad (3.6)$$

де $[C]$ – матриця пружності, що визначається за такою залежністю:

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (3.7)$$

де E – модуль Юнга (модуль пружності); ν – коефіцієнт Пуассона.

Напруження обчислюються в кожній точці сітки кінцевих елементів за допомогою матриці $[C]$ наступним чином:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.8)$$

В результаті перетворення формул (3.7) і (3.8) отримуємо формулу для визначення напружень і деформацій:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (3.9)$$

Врахування граничного стану модельованого масиву гірських порід і реа-

лізація пластичної течії в області поза межних деформацій у чисельній моделі базується на методі початкових напружень, який полягає в наступному.

Чисельне рішення досягається при початково заданих пружних властивостях середовища і постійній матриці жорсткості системи.

В умовах плоскої деформації при напруженнях у середовищі, що не перевищують заданого граничного рівня, зв'язок напружень і деформацій описується законом Гука:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= E_n(\varepsilon_1 + \nu_n \varepsilon_3) / (1 - \nu_n^2) \\ \sigma_3 &= E_n(\varepsilon_3 + \nu_n \varepsilon_1) / (1 - \nu_n^2) \end{aligned} \right\} \quad (3.10)$$

де σ_1 і σ_3 – відповідно найбільше і найменше головні напруження; $E_n = E / (1 - \nu^2)$, $\nu_n = \nu(1 - \nu)$ – "плоскі" аналоги відповідно модуля деформації E і коефіцієнта Пуассона ν .

В області розтягання граничні деформації обмежуються міцністю на розтягання T ($T < 0$):

$$\sigma_3 = T, \quad (3.11)$$

а в області стискання – критерієм Кулона-Мора:

$$\sigma_1 = S + \sigma_3 \operatorname{Ctg} \varphi, \quad (3.12)$$

де $S = 2C \operatorname{Ctg}(45 - \varphi/2)$, $\operatorname{Ctg} \varphi = (1 + \operatorname{Sin} \varphi) / (1 - \operatorname{Sin} \varphi)$; C і φ – відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя.

При виході деформованого стану елемента середовища на границю зони пружності напруження в елементі контролюються рівняннями стану, що на ділянці поза межних деформацій встановлені щодо головних напружень σ_1^T і σ_3^T :

$$\sigma_3^T = [E_n(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + S(\nu_n - 1)] / (1 - \nu_n \operatorname{Ctg} \beta + \operatorname{Ctg} \beta - \nu_n), \quad (3.13)$$

$$\sigma_1^T = S + \operatorname{Ctg} \psi \sigma_3^T. \quad (3.14)$$

Кут β у рівнянні (3.13) визначає закон пластичної течії: при значенні β , встановленому для моделі рівним ψ , течія є асоційованою, що дозволяє врахувати розуцільнення порід в області поза межних деформацій.

Величини головних напружень σ_1^T і σ_3^T представляють собою відпові-

дні досягнутому рівню деформацій теоретичні напруження, до яких прагне чисельне рішення на i -ому кроці ітераційного процесу.

Крім того, в моделі передбачена можливість дослідження областей розривів, які фіксуються на ділянках деформацій розтягнення за умовою (3.13).

3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

Оцінка геомеханічного стану вуглепородного масиву на ділянці проєктованого відпрацювання 2-ї південної лави пласта l_2^1 виконана для характерного перетину, проведеного хрестом простягання виїмкових стовпів відпрацьованих і проєктованих до відпрацювання лав по пластах l_2^1 і l_3 (рис. 3.1)

Досліджуваний масив в чисельній моделі було представлено відповідно до геологічної будови відпрацьовуючої ділянки товщею вуглевміщуючих аргіліт-алевролітових утворень і пісковиків, перекритих з поверхні пухкими водонасиченими відкладеннями неогенового і четвертинного віку (рис. 3.1).

Розміри моделючої області в напрямку координатних осей X і Y встановлено виходячи з мінімізації впливу кордонів моделі на напружено-деформований стан породного масиву в околиці очисних виробок і склали по відповідним осях 2500 x 2000 м.

Геостатичний тиск, який відповідає глибині ведення гірських робіт при проєктованому відпрацюванні пласта l_2^1 2-ю південною лавою, визначався вагою вищерозміщених товщ порід на верхньому контурі моделі, сумарна потужність якої задана відповідно до геологічної будови ділянки шахтного поля.

Значення фізико-механічних і фільтраційних характеристик породних шарів, прийняті в чисельній моделі в якості розрахункових, встановлені за даними, отриманими на етапі розвідки шахтного поля, і уточненими за результатами досліджень механічних і фільтраційних властивостей гірських порід [5, 6] наведені в таблиці 3.1.

Очисна виїмка при відпрацюванні вугільних пластів моделювалася заданим рівнем деформування матеріалу виробленого простору, відповідним коефіцієнту розпушення порід безпосередньої покрівлі, рівному $K_p = 1,2$.



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



Рисунок 3.1 – Структура моделюючої області: 1, 2 – вугільні пласти l_2^1 і l_3 ; 3, 4 – 2 і 3 південні лави пласта l_3 ; 5 – 1 південна лава пласта l_2^1 ; 6 – проектуюча 2 південна лава пласта l_2^1

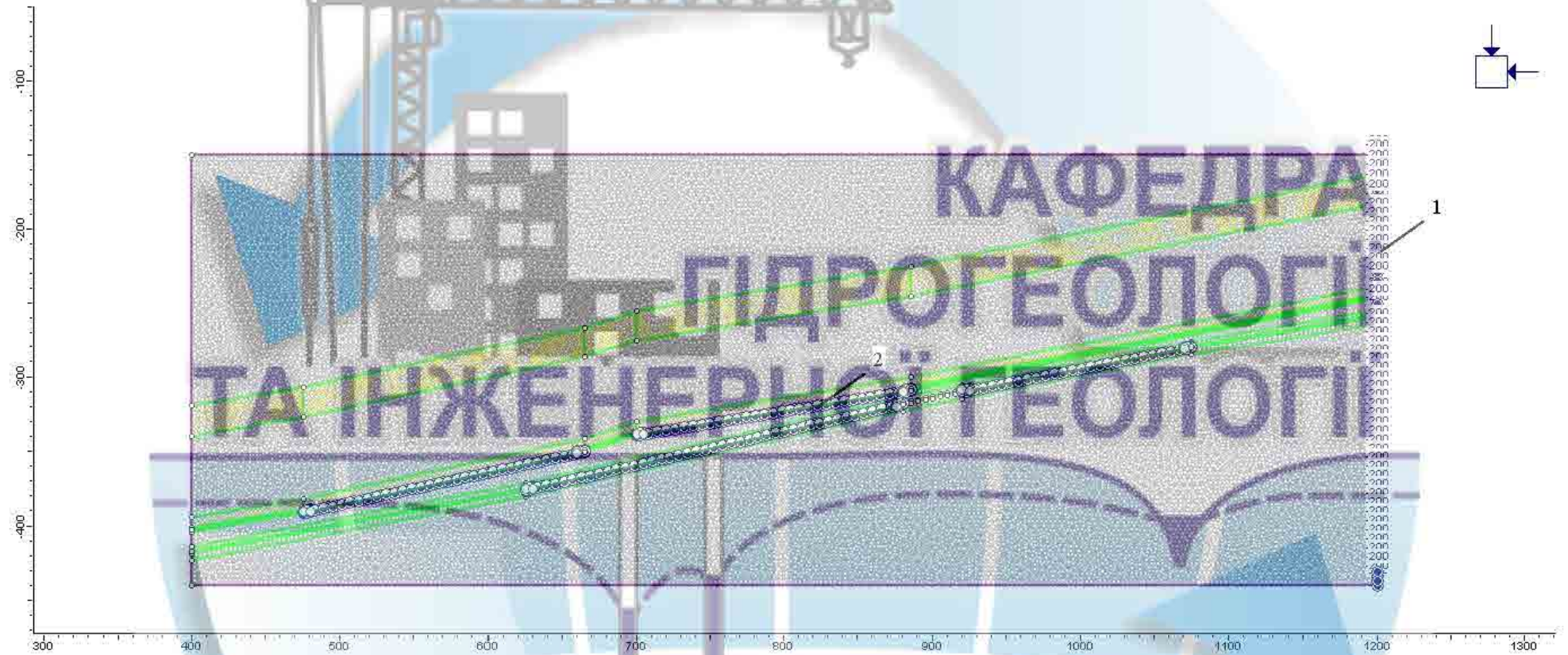



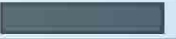



Рисунок 3.2 - Гідродинамічна схематизація області: 1 - контур з забезпеченим живленням ($H = -200$ м); 2 - контури з заданими нульовими напорами ($p = 0$)

Геофільтраційна схематизація профільної гідродинамічної моделі виконана на підставі даних рішення задач планово-просторової фільтрації (див. п. 2), і передбачала завдання постійних напорів на контурі моделюючої області і контурів дренавання (розвантаження) в межах відпрацьованих виїмкових стовпів на пластах l_2^I і l_3 і планованої до відпрацювання лави пласта l_2^I .

Відповідно до результатів розв'язку обернених задач на зовнішньому бічному контурі моделі задано граничну умову з постійним напором, який відповідає положенню рівня підземних вод на абсолютній відмітці -200,0 м (рис. 3.2). При цьому дренавальний вплив підготовчих і очисних виробок в чисельній моделі визначався контурами із заданими нульовими напорами ($p = 0$).

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення показників фізико-механічних і фільтраційних властивостей гірських порід

Номер типа елементів	Найменування	Позначення	Питома вага, γ , кН/м ³	Модуль деформації, E , МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν , дол. од.	Питоме щелення, C , кПа	Кут внутрішнього тертя, φ , град	Коефіцієнт фільтрації, K_{ϕ} , м/добу
1	Аргіліт		26,6	13500	0,20	4600	25,5	0,002
2	Алеволіт		24,6	9600	0,20	7500	37,0	0,002
3	Пісковик		23,9	15000	0,25	12000	37,0	0,04
4	Вугілля		12,5	2870	0,26	7800	39,0	0,07
5	Відпрацьований простір		0,1	4800	0,01	10000	25,0	0,07- -1·10 ⁵

Методикою моделювання передбачалось вирішення задач про напружено-деформований стан порушеного підробітком породного масиву для варіантів відпрацювання 2-ї південної лави при ширині цілика 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10

і 5 м, що залишається з боку затопленого конвеєрного штреку 1-ї південної лави пласта l_2^1 .

При оцінці водопритоків, що формуються з боку затоплених виробок 1-ї південної лави пласта l_2^1 , до розгляду прийняті умови відсутності або обмеженого водовідливу на контурі 1-го південного конвеєрного штреку і високою фільтраційною проникністю завалених порід в обсязі виробленого простору - до 1 м/с.

Також, як і в разі рішення задач про напружено-деформований стан порушеного гірничими роботами масиву порід, рішення профільних гідродинамічних задач виконувалося для відносного розташування контуру підготовчої виробки проекрованої 2-ї південної лави на відстані 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 і 5 м від затопленого обсягу погашених виробок 1-ї південної лави.

3.3 Аналіз результатів моделювання геомеханічних і гідродинамічних процесів

Напружено-деформований стан породного масиву на ділянці захисного цілика при відпрацюванні проекрованої лави контролювалося величинами переміщень, деформацій і напружень в породному масиві при наближенні контуру підготовчої виробки 2-ї південної лави до виробленого простору 1-ї лави пласта l_2^1 .

Представлені на рис. 3.3 і 3.4 поля напружень і переміщень відображають реальну картину деформування вуглевмістнісного породного масиву при відпрацюванні проекрованої 2-ї південної лави пласта l_2^1 в похиленому полі шахти "Добропільська". Наведені результати отримані при наявності бар'єрного цілика шириною 35,0 м з боку затопленого конвеєрного штреку 1-ї південної лави.

Характер позамежного деформування вуглепородної товщі для варіантів рішень при різній ширині бар'єрного цілика наведено в текстових додатках д.1.1... д.1.8.

При оцінці геомеханічного стану породного масиву в процесі чисельного моделювання враховувався вплив розподілу гідравлічних напорів, значення яких отримані на етапі вирішення профільних гідродинамічних задач для варіантів, відповідних різній ширині бар'єрного цілика.

Аналіз гідрогеомеханічного стану порушеного гірничими роботами масиву показав, що залучення в зону позамежного деформування порід в околиці бар'єрного цілика відбувається в покрівлі в межах 45 ... 65 м вугільного пласта, який відпрацьовується. Формування в межах цих інтервалів зон підвищеної тріщинуватості сприяє зняттю гідравлічних напорів з боку затопленого конвеєрного штреку 1-й південної лави.

Безпосередньо в межах бар'єрного цілика розвиток зон позамежних деформацій спостерігається в межах крайових ділянок вугільного пласта на глибину до 10,0 м, а змикання цих зон відбувається при ширині бар'єрного цілика менше 20,0 м.

Вплив зон позамежного деформування на процеси фільтрації через бар'єрний цілик в чисельній моделі оцінювалося шляхом збільшення фільтраційної проникності вугільного пласта в два і десять раз по відношенню до його проникності в природному заляганні [11].

Результати розрахунків формуються через бар'єрний цілик водопритоків для варіантів рішень наведені в таблицях 3.2 і 3.3.

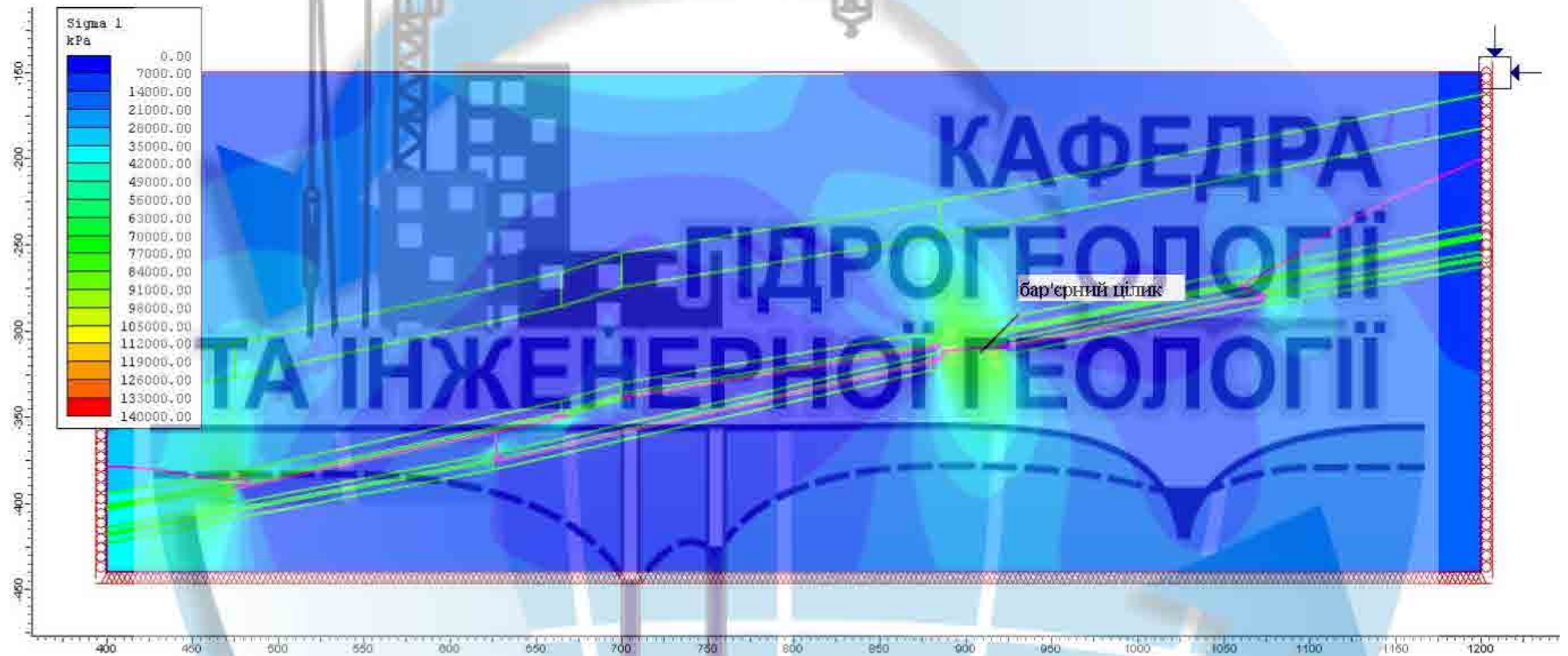


Рисунок 3.3 - Поле найбільших головних напружень, кПа, ширина бар'єрного циліка 35,0 м



Рисунок 3.4 - Поле повних переміщень, м, ширина бар'єрного цїлика 35,0 м

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення питомих водопритоків до проектованої 2-ї південної лави з боку затоплених виробок 1-ї південної лави

Ширина бар'єрного цілика	Питомий водопріток, м ³ /годину		
	фільтраційна проникність вугільного пласта в цілику		
	0,07 м/добу	0,14 м/добу	0,7 м/добу
40,0 м	0,0036	0,0063	0,0158
30,0 м	0,0048	0,0076	0,0170
20,0 м	0,0061	0,0093	0,0177
10,0 м	0,0084	0,0126	0,0187
5,0 м	0,0116	0,0138	0,0171

Для довжини виїмкового стовпа 1000 м відповідні сумарні водопритоків з боку відпрацьованого поля 1-ї південної лави характеризуються величинами, наведеними в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення водпритоків до проектованої 2-й південній лаві з боку затоплених виробок 1-й південної лави

Ширина бар'єрного цілика	Водопріток при довжині виїмкового стовпа 1000 м, м ³ /час		
	фільтраційна проникність вугільного пласта в цілику		
	0,07 м/добу	0,14 м/добу	0,7 м/добу
40,0 м	3,6	6,3	15,8
30,0 м	4,8	7,6	17,0
20,0 м	6,1	9,3	17,7
10,0 м	8,4	12,6	18,7
5,0 м	11,6	13,8	17,1

Згідно з результатами моделювання значення питомих водопритоків при зменшенні ширини бар'єрного цілика від 40,0 до 5,0 м зростають від 0,0036 до 0,0116 м³ / годину при природному проникності вугільного пласта, і від 0,0063 до 0,0138 м³ / годину і від 0,0158 до 0,0171 м³ / годину - відповідно при дворазовому і десятикратному збільшенні фільтраційної проникності в умовах поза-межного деформування вугільного пласта .

Необхідно відзначити, що при максимальній проникності вугільного пласта в межах бар'єрного цілика зі зменшенням його ширини, не відзначається істотного приросту водопритоків. Це пов'язано з максимальним поглинанням ресурсної забезпеченості формуючих водопритоків з боку затопленого конвеєрного штреку 1-ї південної лави пласта l_2^1 .



КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

4. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАР'ЄРНОГО ЦІЛИКА НА ДІЛЯНЦІ ПРОЕКТОВАНОГО ВІДПРАЦЮВАННЯ 2-Ї ЛАВИ ПЛАСТА l_2^1

Виконаними розрахунками показано, що формування водопритоків до проекрованої 2-ї південної лави з боку 1-ї південної лави пласта l_2^1 відбувається переважно з покрівлі відпрацьовуючого пласта при розрахункових величинах водопритоків від 3,72 до 14,07 м³/годину. Крім того, джерелом додаткового надходження води в лаву на контурі проектового вентиляційного штреку по пласту l_2^1 може бути наявність на ділянці сполучення раніше відпрацьованих 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 непогашених затоплених порожнин, що містять вільну гравітаційну воду. Механізм утворення таких порожнин досліджений авторами [12].

Наявність вільної води в межах надпрацьованих ділянок пласта l_2^1 підтверджується проведенням обхідного квершлягу 5-го горизонту південного ухилу пл. l_3 гор. 450 м шахти "Добропільська" з малопотужного вугільного пропластка l_2 на пласт l_3 . Після обвалення порід покрівлі виробки з'явився приток води з витратою 20 м³/годину, а протягом 12 годин збільшився до 50 м³/год. Через 7 днів надходження вод з покрівлі зменшилася до 12 м³/годину.

При бурінні водоспускної свердловини з кутом повстання 6° на 12 метрів розкрито поле 4 південної лави з притоком 30 м³/годину, а при вилученні інструменту зі свердловини приток збільшився до 70 м³/годину.

За весь період спуску води в обсязі 12 500 м³ приток з поля лави на фланговий ухил залишився незмінним і свідчить про те, що забоем квершлягу зустрінуто локальна лінза води, яка не має зв'язку із загальною схемою руху вод аналогічно [12].

У цих умовах основним фактором, що визначає формування водопритоків до проекрованої виробки, є розвиток в інтервалі породного міжпластя пластів l_2^1 і l_3 зон позамежного деформування, яке супроводжується утворенням водопровідних тріщин на ділянці підробки кордону 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 .

Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану при різному взаємному положенні кордонів 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 і вентиляційного штреку 1-ї південної лави пласта l_2^1 показав, що положення зон найбільш інтенсивного тріщинуватого розпушення в інтервалі породного міжпласта характеризується 10 ... 15 метровою зоною під ділянкою сполучення (рис. 4.1 ... 4.5). Величини відносних горизонтальних деформацій в межах цих зон мають значення від $-0,003$... $-0,0095$ при ширині бар'єрного цілика менше 20 м або більше 40 м. Деформації в межах $-0,0095$... $-0,016$ реалізуються при ширині цілика від 20 до 40 м, що відповідає положенню проектованого вентиляційного штреку безпосередньо під кордоном сполучення.

КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

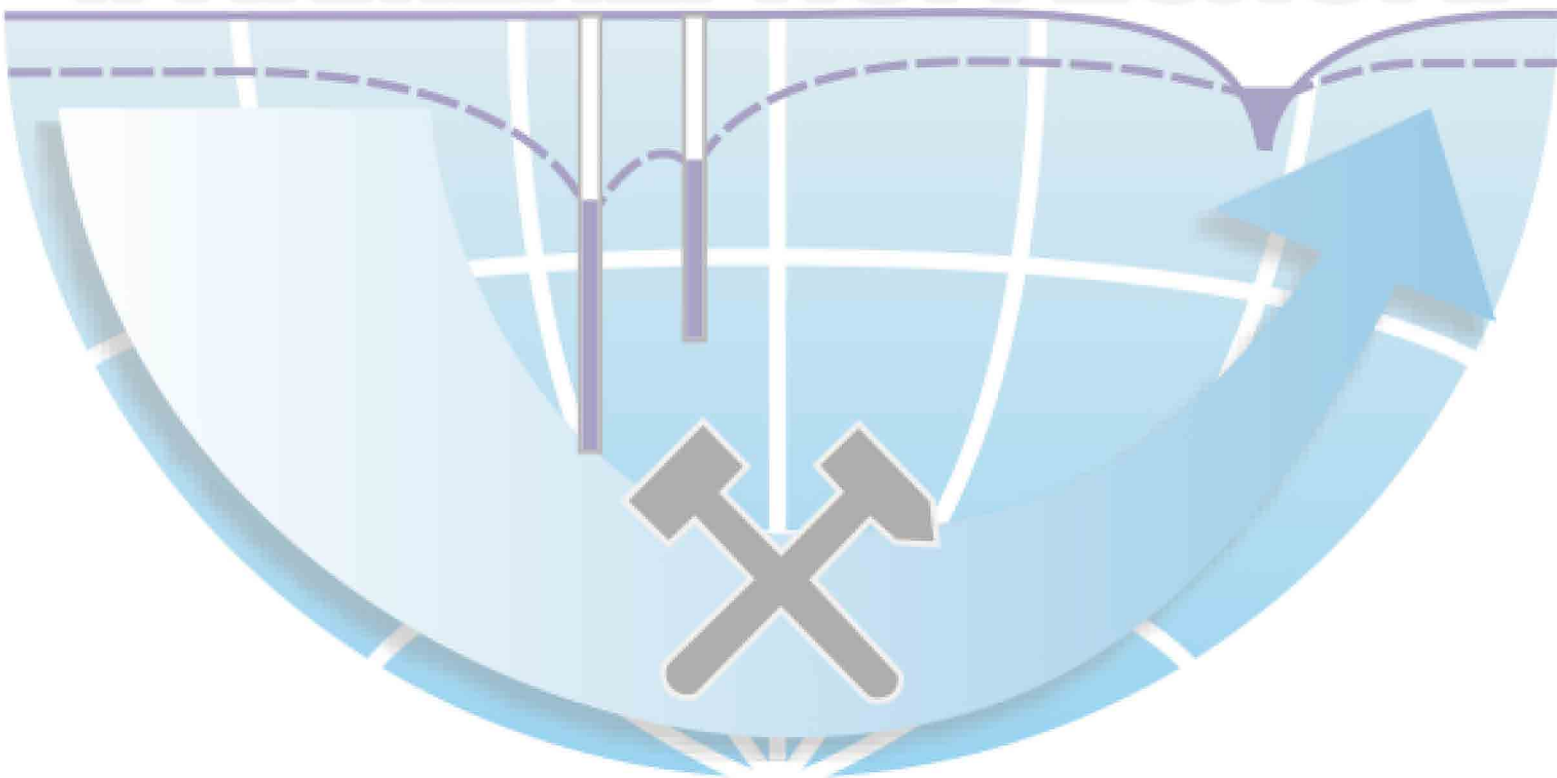




Рисунок 4.1 - Поле відносних горизонтальних деформацій при підробці проектованої 2-ю південною лавою ділянки сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , дол. од., ширина бар'єрного цілика 20,0 м



Рисунок 4.2 - Поле відносних горизонтальних деформацій при підробці проектованої 2-ю південною лавою ділянки сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , дол. од., ширина бар'єрного цілика 30,0 м



Рисунок 4.3 - Поле відносних горизонтальних деформацій при підробці проектованої 2-ю південною лавою ділянки сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , дол. од., ширина бар'єрного щілика 35,0 м

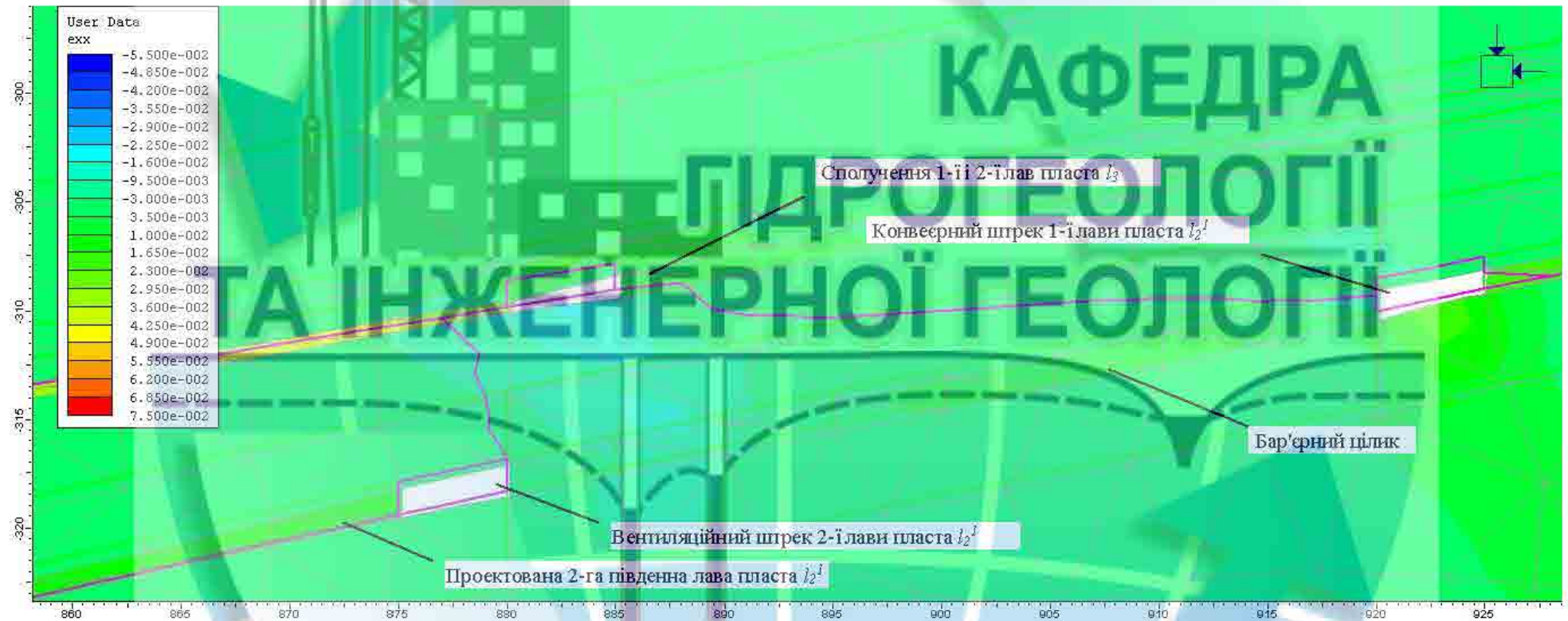


Рисунок 4.4 - Поле відносних горизонтальних деформацій при підробці проектованої 2-ю південною лавою ділянки сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , дол. од., ширина бар'єрного цілика 40,0 м

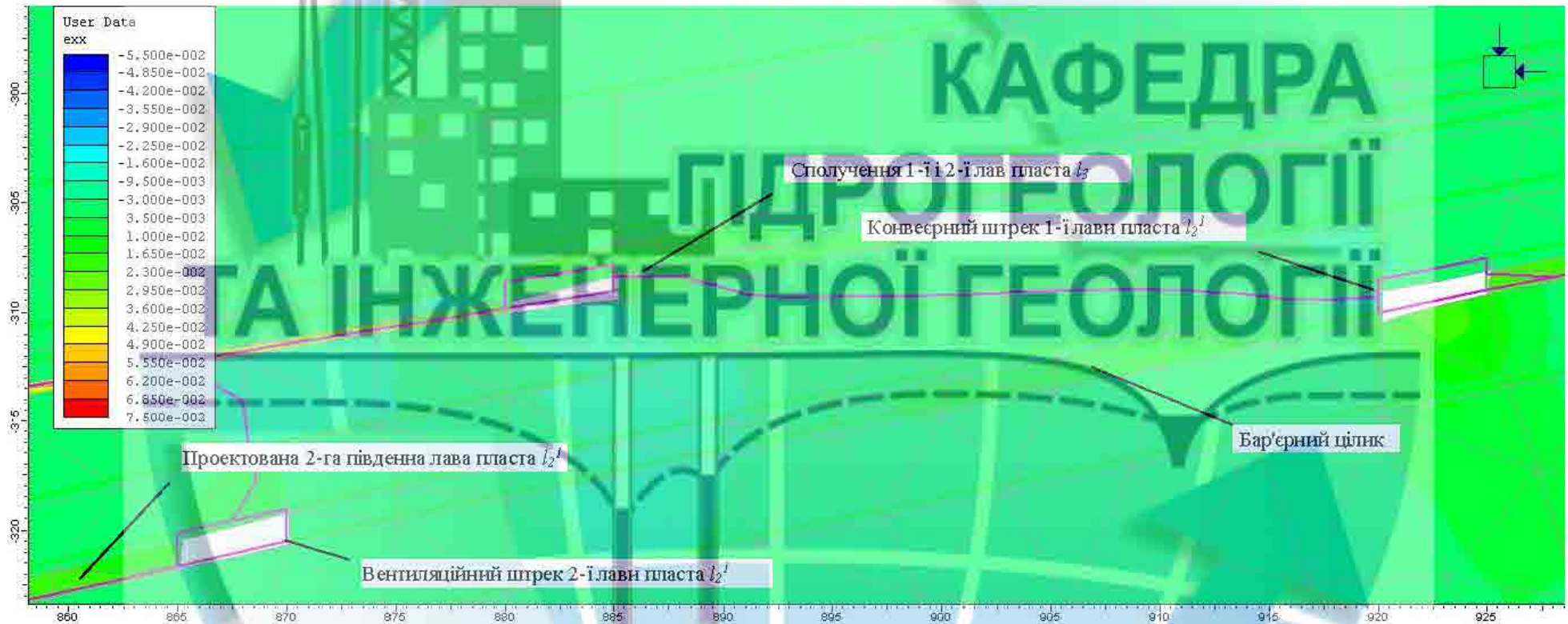
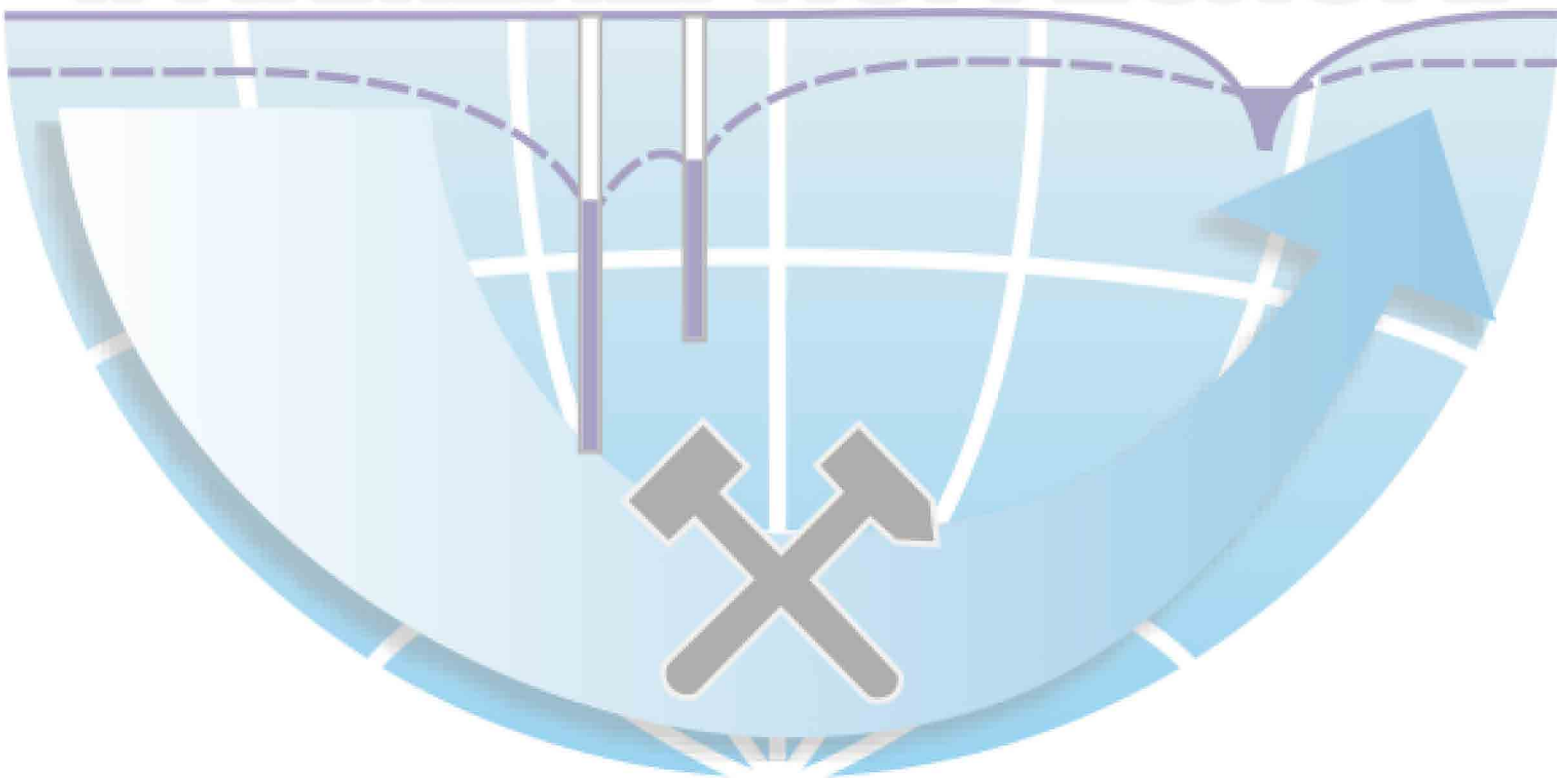


Рисунок 4.4 - Поле відносних горизонтальних деформацій при підробці проектованої 2-ю південною лавою ділянки сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , дол. од., ширина бар'єрного цілика 50,0 м

З огляду на те, що рівень тріщинуватого розпушення відповідає значенням відносних деформацій $-0,003 \dots -0,005$ і трактується [13] як контур з граничною тріщинуватою проникністю для літологічно непроникних порід, найбільш інтенсивні водопрояви слід очікувати в межах ділянки підробітку сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 , тобто при положенні вентиляційного штреку проектованої 2-ї південної лави, яке відповідає ширині бар'єрного цілика від 20 до 40 м.

При встановленому впливі кордони сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 на характер деформування порід міжпластя однією з умов зниження водопритоков, які формуються, є розташування проектованого вентиляційного штреку 2-ї південної лави пласта l_2^1 поза контурів ділянки найбільш інтенсивного тріщинного розпушення, що може бути досягнуто при ширині бар'єрного цілика з боку 1-ї південної лави пласта l_2^1 не менше 40 м.

КАФЕДРА
ПІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз гірничо-геологічних, гідрогеологічних та геомеханічних умов поля шахти "Добропільська", а також результатів моделювання геофільтраційних і геомеханічних процесів в порушеному гірничими роботами породному масиві дозволив зробити наступні висновки.

1. Формування водопритоків до відпрацьованих очисних виробок гор. - 450.0 м південного ухилу шахти "Добропільська" відбувається в умовах практично здренованого породного масиву. Згідно з результатами епігнозного моделювання гідравлічні напори в порушеному породному масиві в межах виїмкових стовпів 2-ї і 3-ї лав пласта l_3 і 1-ї лави пласта l_2^1 не перевищує позначки - 200,0 м.

2. Встановлені за результатами розв'язку обернених (епігнозних) завдань величини водопритоків при заданих фільтраційних параметрах вугільних пластів, які відпрацьовуються і вуглевмісні товщі знаходяться в діапазоні значень 11,6 ... 12,5 і 11,9 ... 23,0 м³/годину відповідно для пластів l_3 і l_2^1 . Ці результати добре узгоджуються з фактичними даними величин водопритоків до відпрацьованих ділянок вугільних пластів на відповідні періоди часу.

3. За результатами прогнозного моделювання геофільтраційних процесів в умовах очікуваного нестационарного режиму фільтрації встановлено, що формування водопритоків до проектованої 2-ї лави пласта l_2^1 при наявності бар'єрного цілика відбуватиметься переважно за рахунок ємнісних запасів в покрівлі вугільного пласта і частково - притоку через бар'єрний цілик із боку відпрацьованої 1-ї лави пласта l_2^1 .

4. Згідно виконаним оцінкам величини водопритоків до проектованої лави змінюються протягом всього періоду ведення очисних робіт (~ 10 місяців) від 3,7 до 14,1 м³/ годину при наявності бар'єрного цілика і від 2,9 до 11,2 м³/годину - при його відсутності, коли виробки пройдені "в присічки". При цьому притоки з боку відпрацьованого виїмкового стовпа 1-ї лави пласта l_2^1 для розглянутих варіантів становлять відповідно 0,65 ... 1,16 і 0,39 ... 1,03 м³/годину.

5. Знижені значення прогнозних водопритоків, формування яких відбувається з боку 1-ї лави пласта l_2^1 при відсутності бар'єрного цілика, пояснюються низькими значеннями гідравлічних напорів, що формуються на контурі погашеного конвеєрного штреку відпрацьованої лави під впливом чинного водовідливу і похилого залягання вугільного пласта.

6. Оцінка напружено-деформованого стану бар'єрного цілика, виконана з використанням профільного геомеханічного моделювання, показала, що розвиток зон позамежного деформування і пов'язаного з ним збільшення проникності вугільного пласта в контурах бар'єрного цілика, відбувається при ширині захисного цілика менше 20,0 м.

7. Розрахунок прогнозних водопритоків до підготовчої виробки проектованої 2-ї лави пласта l_2^1 з боку затопленої виробки 1-ї лави виконаний для випадку максимальної фільтраційної проникності порід в обсязі виробленого простору не менше 1,0 м/с.

8. За результатами розрахунків встановлено значення питомих водопритоків, що формуються до підготовчої виробки проектованої 2-ї лави пласта l_2^1 з боку виробленого простору 1-ї лави. При зменшенні ширини бар'єрного цілика від 40,0 до 5,0 м водоприток зростають від 0,0036 до 0,0084 м³/годину, що відповідає притокам води 3,6 ... 11,6 м³/годину при довжині виїмкового стовпа 1000 м.

9. При очікуваному збільшенні фільтраційної проникності бар'єрного цілика в результаті розвитку зон позамежного деформування (при ширині цілика менше 20,0 м) розрахункові величини питомих водопритоків змінюються в діапазоні від 0,0063 до 0,014 м³/годину при зменшенні ширини цілика від 20,0 до 5,0 м і нижньому значенні збільшення проникності, і від - 0,016 до 0,017 м³/годину - при десятикратному збільшенні проникності порід охоронного цілика.

10. Згідно з виконаними оцінками джерелом додаткового надходження води в лаву на контурі проектованого вентиляційного штреку по пласту l_2^1 може бути наявність на ділянці сполучення раніше відпрацьованих 1-ї і 2-ї пів-

денних лав пласта l_3 непогашених затоплених порожнин, що містять вільну гравітаційну воду. У цих умовах основним фактором, що визначає формування водопритоків до проекрованої виробки, є розвиток в інтервалі породного міжпластя пластів l_2^1 і l_3 зон позамежного деформування, яке супроводжується утворенням водопровідних тріщин на ділянці підробки границі 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 .

11. Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану при різному взаємному положенні границь 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 і вентиляційного штреку 1-ї південної лави пласта l_2^1 показав, що положення зон найбільш інтенсивного тріщинного розпушення в інтервалі породного міжпластя характеризується 10 ... 15 метровою зоною безпосередньо під ділянкою сполучення, тобто при положенні вентиляційного штреку проекрованої 2-ї південної лави, яке відповідає ширині бар'єрного цілика від 20 до 40 м.

12. При встановленому впливі границі сполучення 1-ї і 2-ї південних лав пласта l_3 на характер деформування порід міжпластя однією з умов зниження водопритоків, які формуються, є розташування проектованого вентиляційного штреку 2-ї південної лави пласта l_2^1 поза контурів ділянки найбільш інтенсивного тріщинного розпушення, що може бути досягнуто при ширині бар'єрного цілика з боку 1-ї південної лави пласта l_2^1 не менше 40 м.

У досліджених умовах для безпеки гірничих робіт необхідна підготовка та опрацювання діагональної лави з урахуванням наведених параметрів.

Список літератури

1. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей по полям шахт им. РККА и "Добропольская" п.о. "Добропольеуголь", 1988г.
2. Савицкая В.Н., Нестеренко Л.С. Прогноз гидрогеологических условий эксплуатации для шахтных полей на глубоких горизонтах Украинского Донбасса (Донецкая область и Западный Донбасс). Отчет / ПГО "Донбассгеология", Павлоградская ГРЭ. – Павлоград, 1974. – (Фонды ГПП "Донбассгеология". Инв. № 1023).
3. Савицкая В.Н., Сталинская И.Я. Разработка прогнозов возможности внезапных прорывов подземных вод в шахты Красноармейского геолого-промышленного района. Отчет в 3-х томах, Донецк 1978.(Фонды ИНВ №1584а)
4. Строительство породного отвала ПАО «ДТЭК Добропольская ЦОФ» Рабочий проект Том 1 Пояснительная записка Кн. Горно-геологическое обоснование 2015. - 20с.
5. Моренко Ю.И., Грицков С.А. Работы по изучению режима и оценке состояния подземных вод Донецкой области на 1993-1995 гг. с обобщением за 1991-1995 гг. Отчет / ПГО «Донбассгеология», Артемовская ГРЭ. – Артемовск, 1997. – (Фонды Артемовской ГРЭ).
6. Соляков И.П., Суярко А.В., Чабан Д.И. Геологический отчет о детальной разведке участков Петропавловских №№ 1, 2, 3, Брагиновского № 1 и перспективной разведке Петропавловско-Межевского района. / Трест Артемугле-разведка. – Артемовск, 1962. – (Фонды Приднепровской ГПП. Инв. № 73).
7. Педченко С. В., Шиптенко А. В. Опыт ведения горных работ у затопленных выработок // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 9 (частина І), 2011. - С.80-88.
8. НАОП 1.1.30-5.08-84 Инструкция по безопасному ведению горных работ у затопленных выработок: Утв. Минуглепромом СССР 02.10.84. – Л.: ВНИМИ, 1984. – 66 с.

9. Проект установления барьерного целика у затопленных выработок 1 южной лавы пл. I₂¹ южного уклона гор. 450 м / Смоляк С. А., Беличко Р.В. / «Шахтоуправления «Добропольское», 2017. – 5 с.

10. Садовенко И.А. Оценка геомеханической устойчивости междушахтных целиков / Садовенко И.А., Демченко Ю.И., Улицкий О.А. – Сб. научн. тр. НГУ. – 2003. – Т.1, № 17. – С. 40-43.

11. Садовенко И.А. Моделирование проницаемости тампонажной смеси // Садовенко И.А., Прокопенко Т.Д., Южакова Р.А., Тишков В.В. / Научный вестник НГУ №3, 2007. - С. 8-11.

12. Садовенко И.А. Природоохранные и гидрогеомеханические аспекты оценки и использования водозащитных свойств горных пород / Садовенко И.А., Антропцев А.М., Антонов Ю.И., Тимошук В.И // Известия ДГИ. Сборник научных трудов. – М.: Недра, 1990. – С. 126-131.

13. Садовенко И.А. Механизм водопроявления в очистных выработках и обоснование способов снижения его влияния на технологию выемки угля (на примере шахт Западного Донбасса): Автореф. дис. ... канд. наук.: 05.15.02. – Днепропетровск, 1984. – 24 с.



Додаток 1
Характер позамежного деформування
вуглепородного масиву

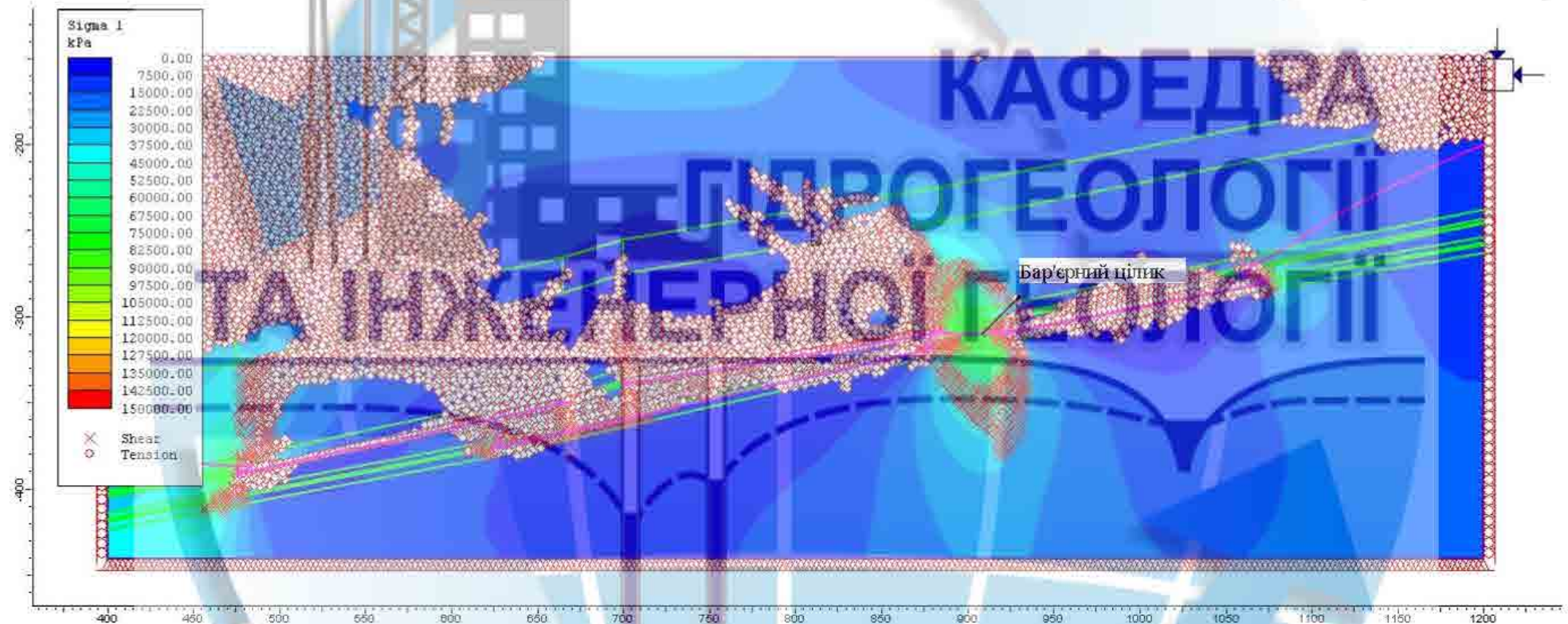


Рисунок П.1.1 - Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цїлика 40,0 м

Продовження додатку 1

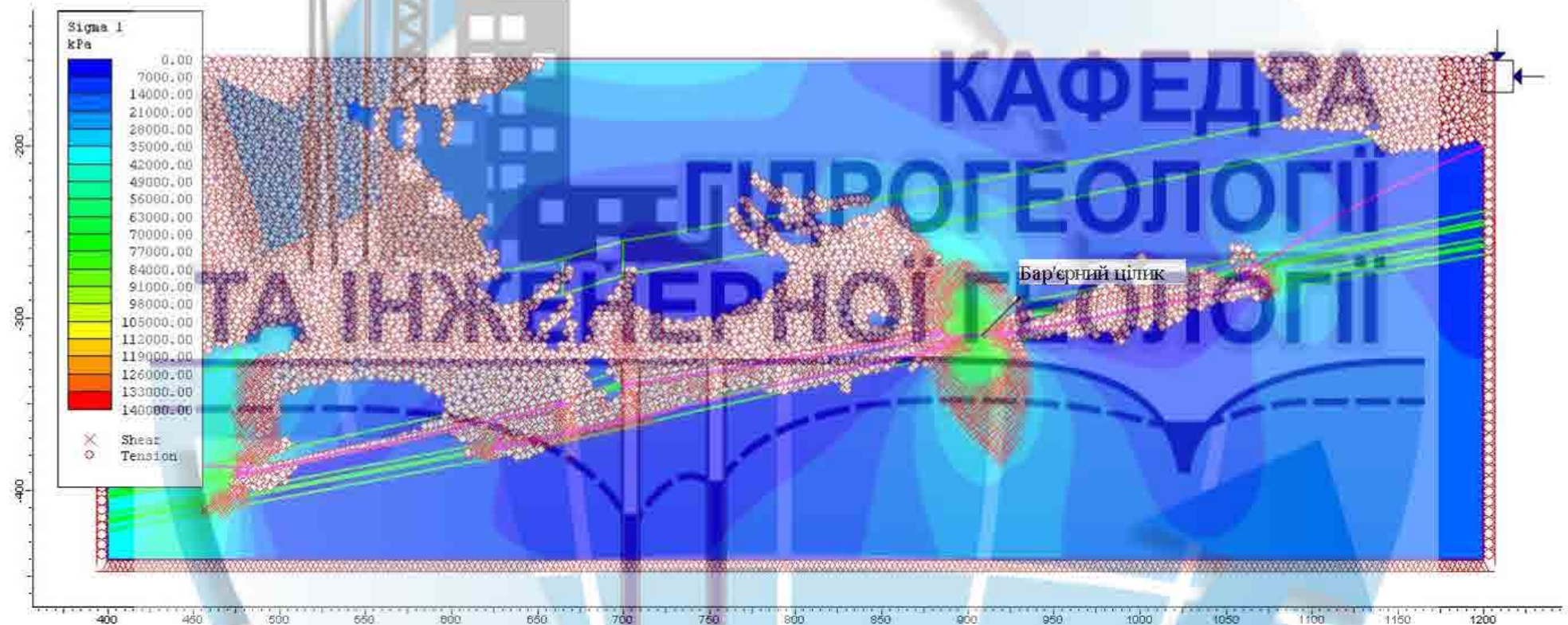


Рисунок П.1.2 - Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цїлика 35,0 м

Продовження додатку 1

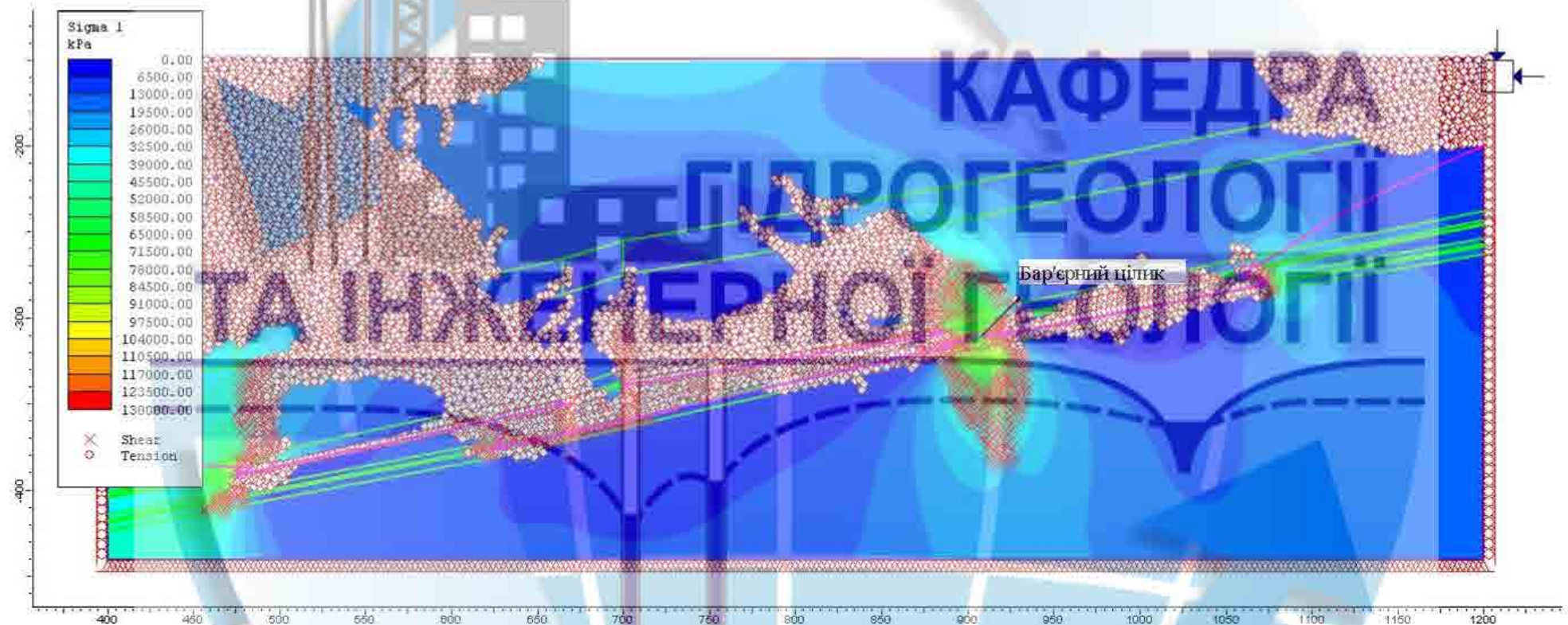


Рисунок П.1.3 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цїлика 30,0 м

Продовження додатку 1

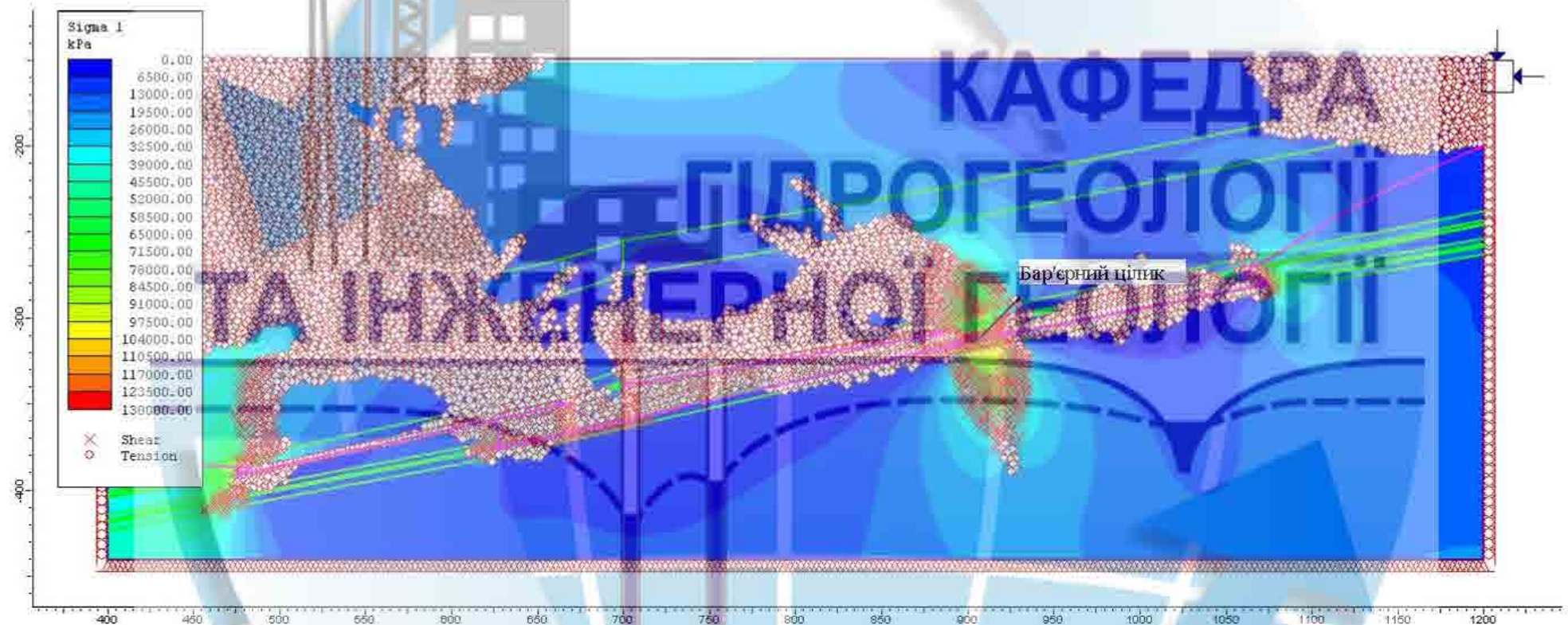


Рисунок П.1.4 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^2 , ширина бар'єрного цїлика 25,0 м

Продовження додатку 1

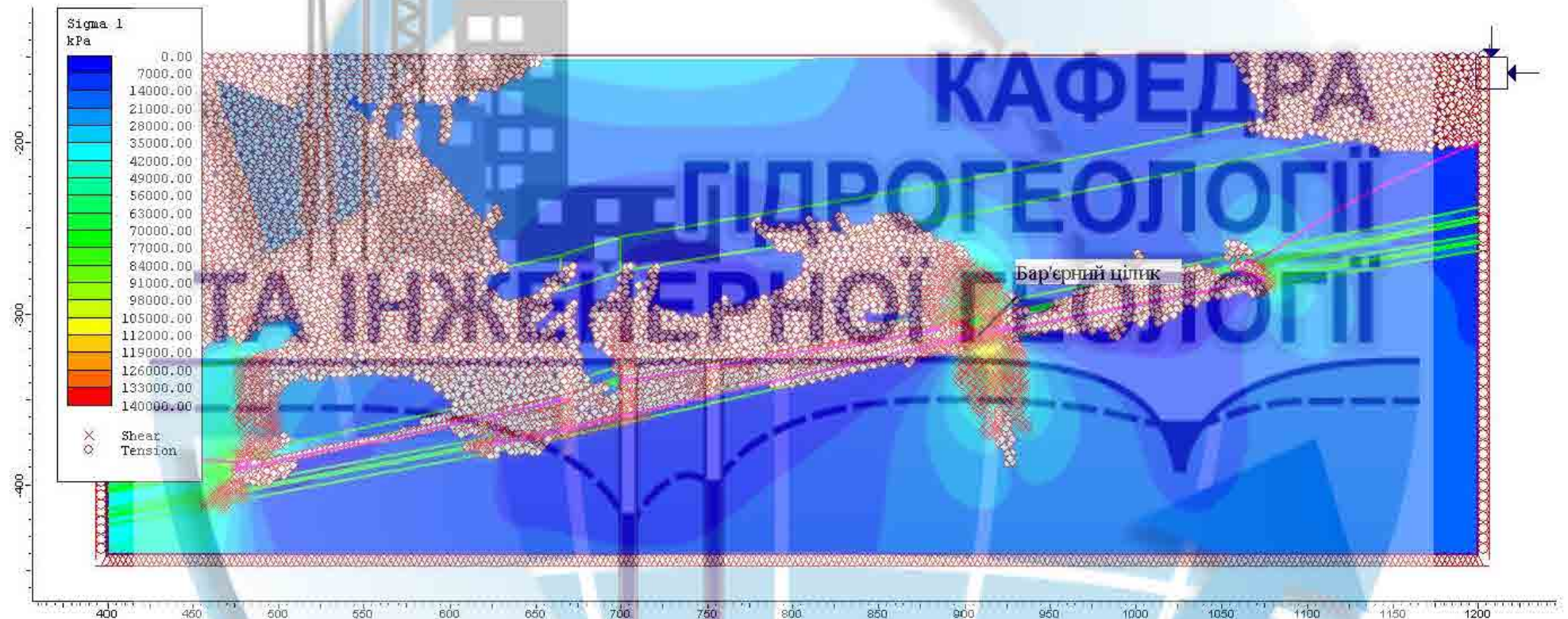


Рисунок П.1.5 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цілика 20,0 м

Продовження додатку 1



Рисунок П.1.6 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^2 , ширина бар'єрного циліка 15,0 м

Продовження додатку 1

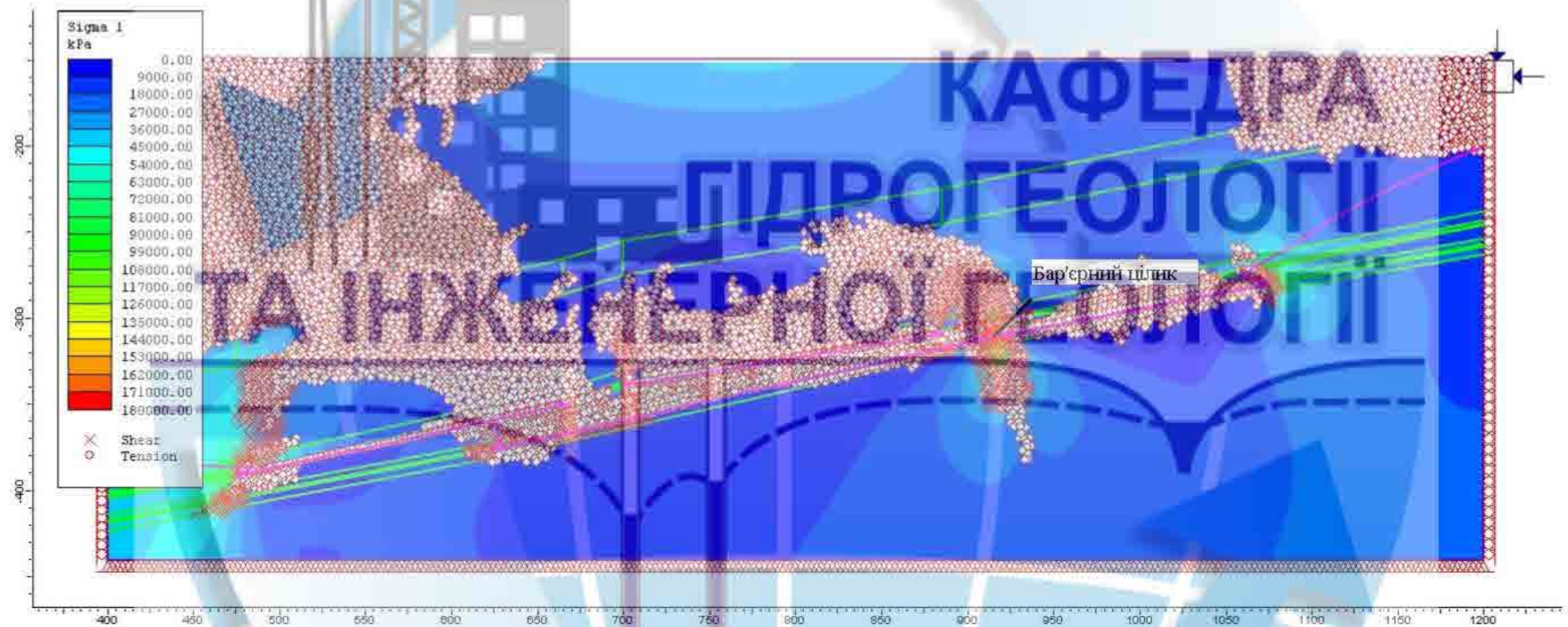


Рисунок П.1.7 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^2 , ширина бар'єрного цїлика 10,0 м

Продовження додатку 1



Рисунок П.1.8 – Характер позамежного деформування вуглепородного масиву при відпрацюванні 2-ї південної лави пласта l_2^2 , ширина бар'єрного цїлика 5,0 м.

Додаток 2

Розподіл гідравлічних градієнтів
на контурі бар'єрного цілика

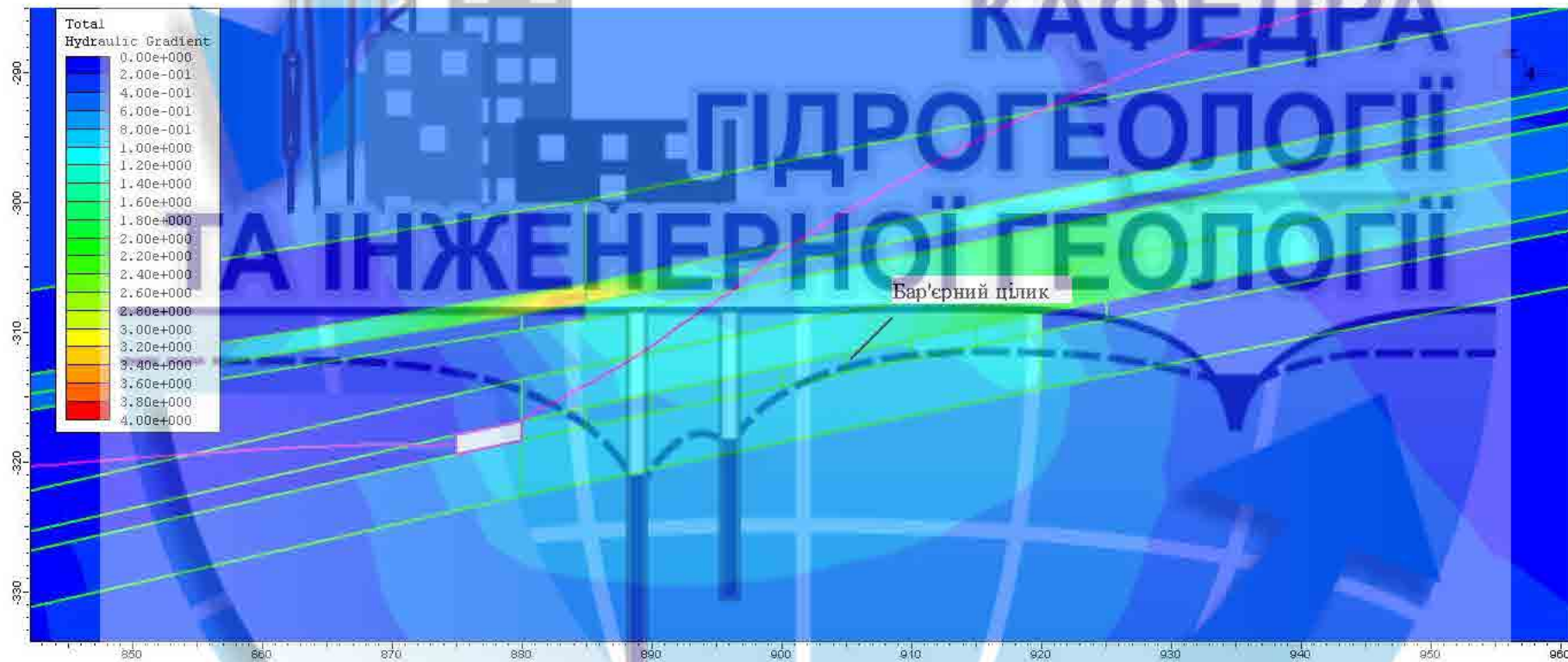


Рисунок П.2.1 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цілика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цілика 40,0 м.

Продовження додатку 2

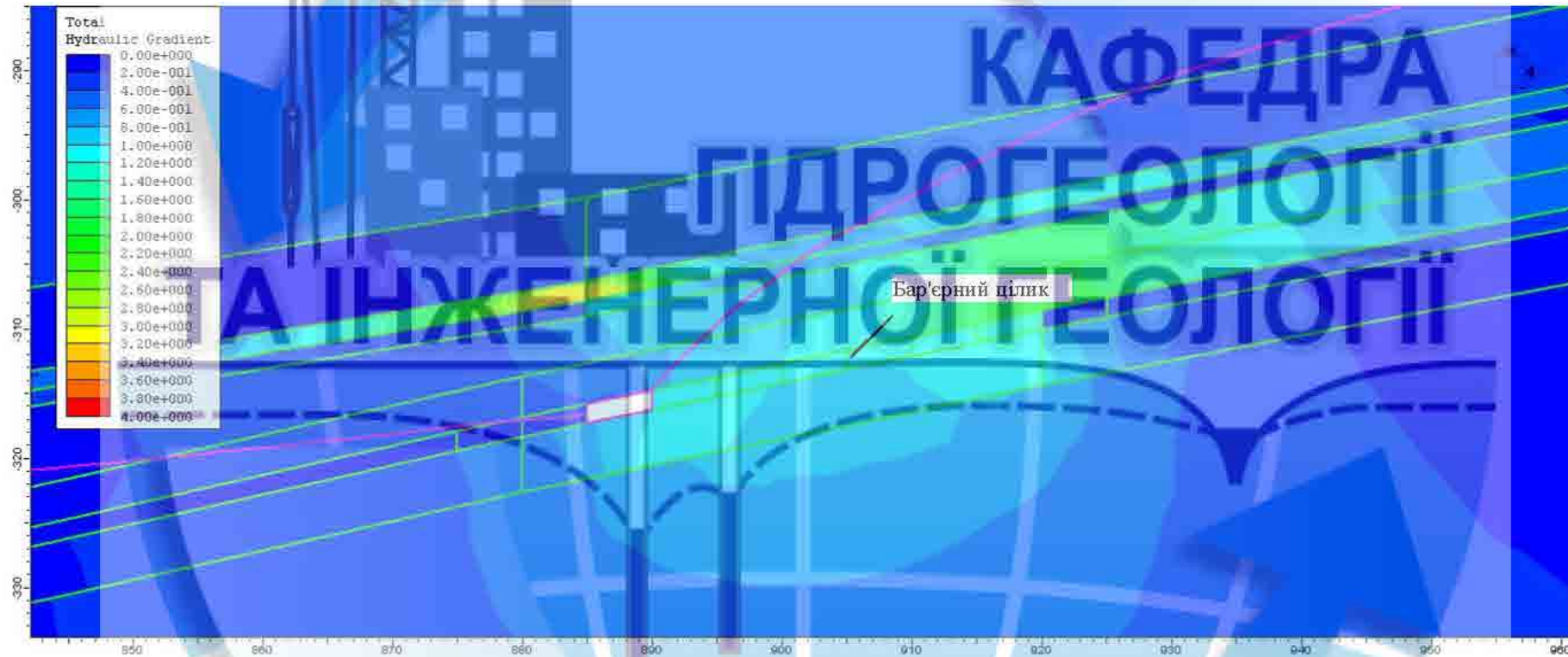


Рисунок П.2.2 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цїлика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цїлика 30,0 м

Продовження додатку 2

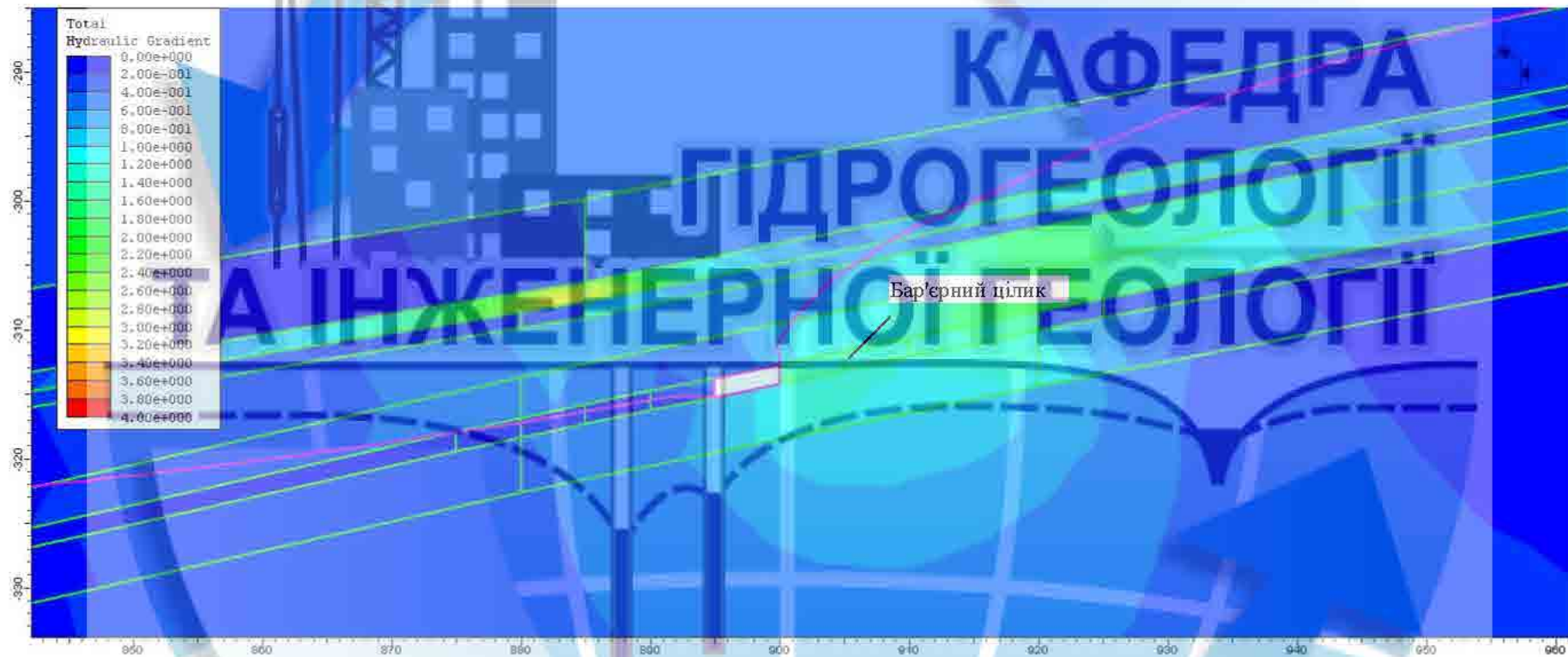


Рисунок П.2.3 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цілика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цілика 20,0 м

Продовження додатку 2

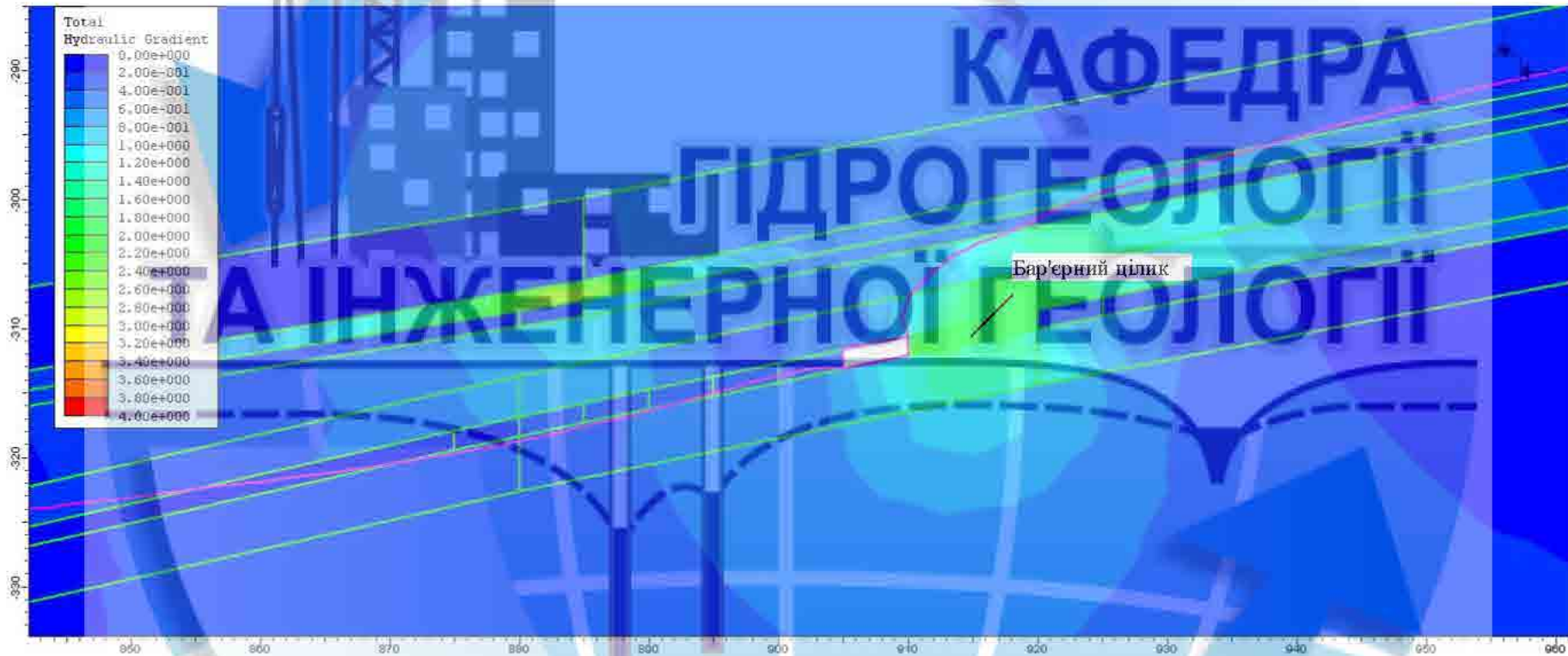


Рисунок П.2.4 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цїлика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цїлика 10,0 м

Продовження додатку 2

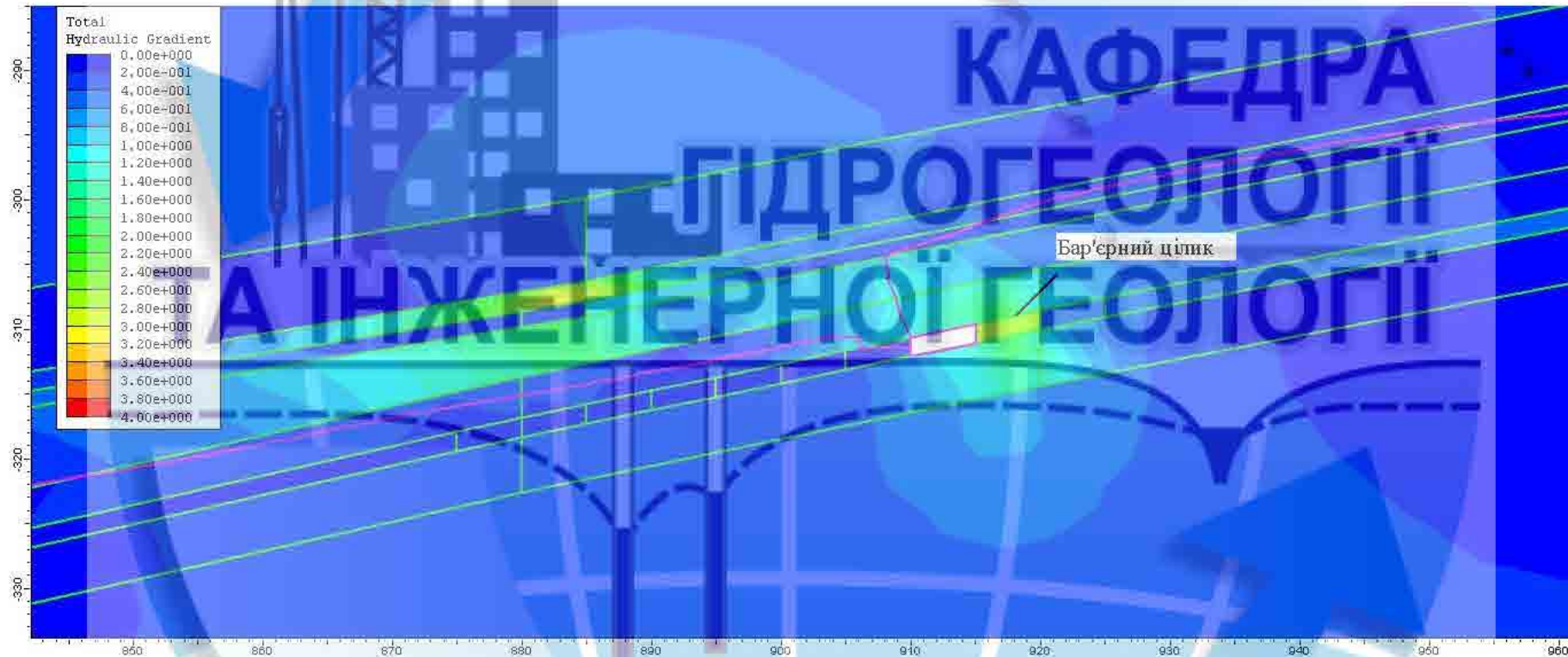


Рисунок П.2.5 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цілика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , ширина бар'єрного цілика 5,0 м.

Продовження додатку 2



Рисунок П.2.5 – Розподіл гідравлічних градієнтів на контурі бар'єрного цілика у затопленій 1-й південній лаві при проведенні підготовчої виробки 2-ї лави пласта l_2^1 , бар'єрний цілик відсутній.



КАФЕДРА
ГІДРОГЕОЛОГІЇ
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ

ВІДЗИВ

на кваліфікаційну роботу студентки гр. 103м-19-2 Салагаєвої Ганни
Олександрівни "Гідрогеомеханічні параметри захисних бар'єрних ціликів
вугільних шахт та їх технологічне використання"

В кваліфікаційній роботі Салагаєвої Г.О. виконано дослідження умов формування гідродинамічного режиму та геомеханічного стану порушеного гірничими роботами порідного масиву у зв'язку з обґрунтуванням параметрів захисного бар'єрного цілика біля затоплених виробок.

Для вирішення поставлених задач автором роботи виконаний детальний аналіз особливостей формування техногенного режиму підземних вод та впливу його змін на гідрогеомеханічний стан порушеного гірничими роботами гірського масиву.

За результатами геофільтраційного моделювання в роботі наданий прогноз водопритоків до підземних гірничих виробок при проектуваному відпрацюванні вугільного пласта в умовах ведення гірничих робіт біля затоплених гірничих виробок.

Обґрунтування гідрогеомеханічних параметрів захисного бар'єрного цілика біля затоплених виробок виконано із застосуванням розробленої гідрогеомеханічної моделі порідного масиву, порушеного підземними гірничими виробками.

Поставлені в роботі задачі вирішені в повному обсязі, кваліфікаційна робота вміщує значний обсяг табличного та графічного матеріалу, при виконанні роботи в повній мірі використані сучасні методи досліджень із застосуванням електронно-обчислювальної техніки.

Кваліфікаційна робота виконана методично грамотно і відповідає вимогам, що ставляться до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньо-професійної програми "Гідрогеологія". Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки "відмінно", а її автор Салагаєва Г.О. – присвоєння ступеня магістр за спеціальністю "Науки про Землю".

Керівник кваліфікаційної роботи,

к.т.н., доцент

А.М.Загриценко

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістр НТУ «Дніпровська політехніка» за освітньо-професійною програмою «Гідрогеологія» студентки гр. 103м-19-2 Салагаєвої Ганни Олександрівни «Гідромеханічні параметри захисних бар'єрних ціликів вугільних шахт та їхнє технологічне використання»

Кваліфікаційна робота Салагаєвої Г.О. присвячена дослідженню геолого-гідрогеологічних і гірничотехнічних умов ділянки відпрацювання вугільного пласта біля затоплених виробок південного ухилу горизонту 450 м шахти «Добропільська».

Вирішення задач обґрунтування параметрів захисного бар'єрного цілика біля затоплених виробок виконано на основі прогнозної оцінки умов формування водопритоків до очисних виробок та геомеханічного стану порушеного гірничими роботами порідного масиву.

При виконанні прогнозних розрахунків застосовано сучасне програмне забезпечення для моделювання геофільтраційних та геомеханічних процесів із використанням електронно-обчислювальної техніки.

Поставлені в кваліфікаційній роботі задачі вирішені в повному обсязі, робота виконана методично грамотно і містить необхідний обсяг табличного та ілюстративного матеріалу.

Результати виконаного дослідження отримані для реальних умов діючого підприємства і мають практичну цінність та новизну.

Кваліфікаційна робота відповідає вимогам, що ставляться до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньо-професійної програми «Гідрогеологія». Кваліфікаційна робота заслуговує оцінки «відмінно», а її автор, Салагаєва Г.О., присвоєння ступеня магістр за спеціальністю «Науки про Землю».

Рецензент:

доцент кафедри геології та розвідки родовищ
корисних копалин, к.г.н.

Куцевол М.Л.

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра

студента (ки) групи 103м-19-2
(шифр групи)

Салагаєвої Ганни Олександрівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Гідромеханічні параметри захисних бар'єрних ціликів вугільних шахт та їхнє технологічне використання»

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

Показники звіту подібності

Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	Unichек	
	Оригінальність	78
Схожість	22	

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.

Нормо контролер

доц. Дерев'ягіна Н.І.

Зав. кафедри

проф. Рудаков Д.В.

(дата)