

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 Чорноус Анастасії Віталіївни

академічної групи 103М-19-2

(шифр)

спеціальності Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія

(офіційна назва)

на тему «Динаміка гідро- та геохімічного режимів у зоні розташування і масиві технологічного відвалу та схема локалізації геотехногенезу»

**КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ**

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Тимошук В.І.			
розділів:				
Загальний	Тимошук В.І.			
Спеціальний	Тимошук В.І.			
Рецензент	Довбніч М.М.			
Нормоконтролер	Загриценко А.М.			

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 Чорноус Анастасії Віталіївні  
(прізвище та ініціали)

академічної групи 103М-19-2  
(шифр)

спеціальності Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою Гідрогеологія

на тему «Динаміка гідро - та геохімічного режимів у зоні розташування і масиві технологічного відвалу та схема локалізації геотехногенезу»

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

**КАФЕДРА**  
**ГІДРОГЕОЛОГІЇ**  
**ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ**

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний		
Спеціальний		

Завдання видано

(підпис керівника)

Тимощук В.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Чорноус А.В.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка стор.99, рис. 30, табл.15, джерел 22.

Кваліфікаційна робота присвячена оцінці інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ділянки технологічного відвалу ДП Калуська ТЕЦ та впливу його реконструкції на гідродинамічний і гідрогеохімічний режими.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є гідродинамічні та геоміграційні процеси в ґрунтовому масиві та огорожувальних спорудах технологічного відвалу в умовах його реконструкції.

Метою роботи є прогнозна оцінка гідрогеологічних умов ділянки будівництва та змін її гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів під впливом проекрованої реконструкції технологічного відвалу.

У вступі наведені актуальність та мета роботи, поставлені завдання, які необхідно вирішити, та здійснено вибір методики для вирішення поставлених завдань.

У загальній частині наведена фізико-географічна характеристика досліджуваної території та виконаний аналіз інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов досліджуваної ділянки.

У спеціальній частині наведена розрахункова схематизація і методика моделювання та виконаний аналіз змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів на ділянці технологічного відвалу.

За результатами виконаних розрахунків надана прогнозна оцінка змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів на ділянці технологічного відвалу та обґрунтовані заходи щодо підвищення стійкості огорожувальних споруд відвалу в умовах його реконструкції.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛ, ОГОРОЖУВАЛЬНІ СПОРУДИ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГЕОМІГРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ.....	8
2 ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ.....	11
2.1 Геологічна будова та гідрогелогічні умови .....	11
2.2 Технічна характеристика золошлаковідвалу .....	14
3 ПРОГНОЗ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ТА ГІДРОГЕОХІМІЧНОГО РЕЖИМІВ ДІЛЯНКИ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ В УМОВАХ ЙОГО РЕКОНСТРУКЦІЇ .....	17
3.1 Математичне забезпечення геофільтраційної та геоміграційної моделей .....	17
3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання .....	25
3.3 Аналіз змін гідродинамічного та гідрогелохімічного режимів на ділянці золошлаковідвалу .....	34
4 МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ.....	54
4.1 Процедура розрахунку геофільтрації через тіло огороджувальних дамб .....	54
4.2 Розрахункова схематизація і методика розрахунку .....	58
4.3 Аналіз результатів моделювання процесів геофільтрації на ділянках огороджувальних споруд .....	66

## 5 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ

## ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

## ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД

ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ ..... 69

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ..... 73

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ..... 77

## ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ

ДОДАТОК А. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 1-1 ..... 81

ДОДАТОК Б. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 2-2 ..... 83

ДОДАТОК В. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 3-3 ..... 85

ДОДАТОК Г. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 4-4 ..... 87

ДОДАТОК Д. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 5-5 ..... 89

ДОДАТОК Е. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 6-6 ..... 91

ДОДАТОК Ж. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 7-7 ..... 93

ДОДАТОК И. Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу. Профіль 8-8 ..... 95

ДОДАТОК К. Відзив наукового керівника на  
кваліфікаційну роботу ..... 97

ДОДАТОК Л. Рецензія на кваліфікаційну роботу ..... 98

ДОДАТОК М. Протокол перевірки кваліфікаційної роботи  
на плагіат ..... 99

## ВСТУП

Дійсна робота виконана у зв'язку з оцінкою умов проектного будівництва огорожувальних споруд другого ярусу золошлаковідвалу ДП Калузька ТЕЦ і впливу його реконструкції на гідродинамічний і гідрогеохімічний режими.

Метою роботи є прогнозна оцінка гідрогеологічних умов ділянки будівництва та змін її гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів під впливом проектною реконструкції технологічного відвалу.

Об'єкт досліджень – гідродинамічні та геоміграційні процеси в ґрунтовому масиві та огорожувальних спорудах технологічного відвалу в умовах його реконструкції.


Оцінка впливу золошлаковідвалу та його реконструкції на гідродинамічний та гідрогеохімічний режими, а також розрахунки геофільтрації крізь огорожувальні споруди виконані з використанням чисельного геофільтраційного та геоміграційного моделювання.

В процесі виконання роботи вирішені наступні задачі:

- виконані аналіз і узагальнення даних про геолого-гідрогеологічні та геолого-технічні умови досліджуваної території та ділянки золошлаковідвалу;
- розроблені загальні гідродинамічна та геоміграційна схеми досліджуваної території, обґрунтована структура розрахункових моделей, визначені початкові і граничні умови;
- виконана прогнозна оцінка змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів на ділянці золошлаковідвалу відповідно до прийнятої схеми його реконструкції;
- виконана оцінка геофільтраційних процесів крізь огорожувальні споруди в умовах проектного нарощування другого ярусу золошлаковідвалу;
- обґрунтовані заходи щодо підвищення гідргеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золошлаковідвалу в умовах його реконструкції.

Оснoву для виконання прогнозиx розрахунків склали результати інженерних вишукувань, дані режимних спостережень і матеріали досліджень, виконаних ДПР НДІ "ТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ" та ТОВ "ФУНДАМЕНТС-ТРОЙМАКС".

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ СПОРУДИ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГЕОМІГРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

Золошлаковідвал ДП Калуська ТЕЦ розташований м. Калуш Івано-Франківської області за межами промайданчика ТЕЦ в північно-східному напрямку від головного корпусу у верхній частині пойми р. Сапогів.

У геоморфологічному відношенні ділянка розташована в районі Передкарпатського передового прогину на вододілі річок Сапогів і Фрумилів – лівих притоків річки Сівка, долина якої займає частину Калуської рівнини.

Калуська рівнина розташована на IV надзаплавній терасі ріки Дністер. Поверхня тераси рівнинна з невеликим ухилом на північний схід, помережена звивистими долинами неглибоких річок та струмків.

Територія розташування золошлаковідвалу відноситься до правобережного підрайону Наддністрянського кліматичного району. Для цієї території характерна м'яка зима з відлигами і нестійким сніговим покривом (сніговий покрив тримається протягом 100 днів, а в малосніжні зими – 50 днів; середня висота снігового покриву становить 6...10 см.). Весняні приморозки тривають до третьої декади квітня, в окремі холодні весни – до третьої декади травня. Осінні приморозки наступають у третій декаді вересня. Сума активних температур складає 24...25° С, річна кількість опадів 610...750 мм. Середня тривалість безморозного періоду 155...160 днів.

Кліматичні характеристики приводяться за даними м. Івано-Франківськ [ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010] (табл. 1.1).

Кліматологічну характеристику температури зовнішнього повітря по метеорологічній станції Івано-Франківськ наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Температура зовнішнього повітря (у градусах Цельсія)

Метеорологічна станція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
середня добова	-4,3	-2,6	1,7	8,1	13,6	16,7	18,3	17,7	13,4	8,0	2,5	-2,4	7,6
амплітуда температури	7,8	7,7	8,8	10,8	11,4	11,0	11,0	11,4	11,2	10,4	7,2	6,7	



Таблиця 1.2 – Температура зовнішнього повітря

Середня за рік	Температура повітря, °C						Період із середньою добовою температурою повітря							
	холодного періоду				теплого періоду		≥ 8 °C		≥ 10 °C		≥ 21 °C			
	найхолодніша доба забезпеченістю		найхолодніша п'ятиденка забезпеченістю		найжаркіша доба забезпеченістю 0,95		найжаркіша п'ятиденка забезпеченістю 0,99		тривалість, діб	середня температура, °C	тривалість, діб	середня температура, °C	тривалість, діб	середня температура, °C
7,6	0,98	0,92	0,98	0,92	27	22	179	0,4	200	1,2	-	-	-	-

Кліматологічну характеристику опадів і снігового покриву наведено у таблиці 1.3.

Найбільша кількість опадів (75%) випадає у вигляді дощу. В весняний і літній періоди часто випадають зливові дощі з градом, в осінній період опади випадають у вигляді затяжних мрячних дощів.

Територія відноситься до зони недостатнього зволоження (табл. 1.4). Середня річна відносна вологість повітря – 78%.

Таблиця 1.3 – Характеристика опадів

Місяць	Середня по місяцях												Кількість опадів за рік, мм
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кількість опадів, мм	28	32	34	50	74	92	94	75	63	40	35	38	655
Наявність снігового покриву, дні	21	20	10	-	-	-	-	-	-	-	3	17	

Таблиця 1.4 – Відносна вологість повітря

Середня місячна відносна вологість, % середня добова амплітуда відносної вологості, %												Середня за рік відносна вологість, %
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
$\frac{83}{12}$	$\frac{81}{16}$	$\frac{77}{23}$	$\frac{72}{32}$	$\frac{72}{34}$	$\frac{74}{32}$	$\frac{75}{32}$	$\frac{76}{34}$	$\frac{79}{31}$	$\frac{80}{27}$	$\frac{84}{16}$	$\frac{85}{9}$	78

Кліматологічну характеристику переважного напрямку вітру, його повторюваність, середню швидкість вітру за січень-грудень наведено у таблиці 1.5.

Найбільшу повторюваність у районі мають вітри південно-східного напрямку, найменшу – північного і північно-західного.

Таблиця 1.5 – Характеристика вітру

Переважний напрям вітру, його повторюваність, %											
Середня швидкість вітру, м/с											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
3,27	ПдСх, 26	ПдСх, 24	ПдЗ, 21	ПдЗ, 21	З, 28	З, 29	З, 26	З, 29	З, 23	З, 25	З, 26
2,9	3,2	3,4	3,2	2,8	2,8	2,6	2,3	2,4	2,6	3,0	2,8

У відповідності до карти архітектурно-будівельного кліматичного районування [ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010] територія Калуша відноситься до IIIА – Гірськокарпатського підрайону Українських Карпат, для якої характерні наступні кліматичні характеристики – таблиця 1.6.

Таблиця 1.6 – Кліматичні характеристики території

Температура повітря, °С				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру у січні, м/с
середня за		абсолютний мінімум	абсолютний максимум			
січень	липень					
-7	14	-38	35	1600	Від 77 до 81	3

Характеристики значень навантажень і впливів, прийняті по м. Калуш, згідно ДБН [15] (додаток Е):

- вітрове навантаження,  $w_o$  – 530 Па;
- снігове навантаження,  $s_o$  – 1440 Па;
- товщина стінки ожеледі,  $b$  – 19 мм;
- вітрове навантаження при ожеледі,  $w_e$  – 180 Па.

Нормативна глибина промерзання глинистих ґрунтів – 0,8 м [ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010].

## 2 ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ

### 2.1 Геологічна будова та гідрогеологічні умови

В геоструктурному відношенні досліджувана територія розташована в межах Сам-бірської структурно-фаціальній зони Передкарпатського прогину, який простежується з північного заходу на південний схід. Самбірська зона представляє собою тектонічний покрив, складений дислокованими, повністю відірваними від своїх коренів моласовими утвореннями, на які насунутий Бориславсько-Покутський покрив, і які самі насунуті на зовнішню автохтонну частину Передкарпатського прогину.

Відклади, що складають Передкарпатський передовий прогин, відносяться до нижньонеогенової (міоцен) та четвертинної систем.

Міоцен складається (зверху донизу) з покутської (потужність 150...200 м), стебниківської (потужність 100...120 м), соленосної (потужність 30...500 м) та калуської світ, представлених глинами, пісковиками і пісками, серед яких зустрічаються пласти та лінзи кам'яної та калійної солей, гіпсу та ангідриту, що місцями заміщуються потужними товщами конгломератів.

Неогенові відкладення в межах Калуської рівнини перекриті четвертинними утвореннями, які представлені алювіальними та елювіально-делювіальними відкладами.

Потужність четвертинних утворень досягає 15...18 м.

Літологічно вони представлені у верхній частині розрізу суглинками різної консистенції, в нижній – гравійно-галечниковим шаром з піщано-глинистими та піщаними наповнювачами.

Гідрогеологічні умови району характеризуються наявністю в четвертинних відкладеннях двох водоносних горизонтів. Перший від поверхні го-

ризонт безнапірний, приурочений до елювіально-делювіальних суглинків, з положенням рівня ґрунтових вод на глибині 4,3...4,9 м.

Другий водоносний горизонт пов'язаний з алювіальними гравійно-галечниковими відкладеннями, напірний, глибина залягання – 7,0...10,0 м.

Максимальний рівень ґрунтових вод в районі промайданчика ДП Калуська ТЕЦ знаходиться на відмітках від 301,20 до 293,40 м, в районі золошлаковідвалу – 296,4 м у верхів'ї, 296,6 м в середній частині і 291,0 м – в районі станції освітленої води.

Рівень ґрунтових вод першого водоносного горизонту в залежності від рельєфу характеризується непостійною висотою і залежить від кількості атмосферних опадів.

У формуванні гідродинамічного режиму ґрунтового водоносного горизонту приймають участь природні і техногенні фактори. Крім інфільтрації атмосферних опадів, живлення горизонту відбувається за рахунок витоків технічних вод з водонесучих комунікацій та втрат із гідротехнічних споруд.

За даними режимних спостережень амплітуди коливань рівнів ґрунтових вод на промайданчику складають від 1,6 до 3,6 м. Деяко менші значення амплітуд (1,5...2,0 м) зафіксовані в межах територій вуглескладу та градирні.

За даними раніше виконаних вишукувань (1985-86 рр.) та даними досліджень, виконаних ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС" (2017 р.), коефіцієнт фільтрації водоносних суглинків складає 0,05 м/добу, алювіальних гравійно-галечникових відкладень – 19,0 м/добу.

Води прісні, гідрокарбонатно-кальцієві, з мінералізацією до 1,0 г/л, слабоагресивні за вмістом агресивної вуглекислоти до бетону марки W4 за водопроникністю (БНіП 2.03.11-85).

Згідно карти загального сейсмічного районування (ДБН В.1-2:2014) територія будівництва для споруд з класом відповідальності СС3 знаходиться в межах зон з інтенсивністю впливів 7 балів (Карта ЗСР 2004-С імовірність 1% перевищення сейсмічної інтенсивності протягом 50 років, або один раз за 5000 років), а для споруд з класом відповідальності СС2 знаходиться в межах

зони з інтенсивністю впливів: 7 балів (карта ЗСР 2004-В імовірність 5% перевищення сейсмічної інтенсивності протягом 5 років, або один раз за 1000 років).

Відповідно до таблиці 5.1 ДБН В.1-12:2014 насипні ґрунти відносяться до IV категорії за сейсмічними властивостями, а ґрунти ІГЕ-2...5 – до другої.

Згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань [23] інженерно-геологічні умови ділянки золошлаковідвалу характеризуються розвитком літологічних різностей, виділених у наступні інженерно-геологічні елементи (ІГЕ):

ІГЕ-П – ґрунтово-рослинний шар: суглинок з рештками рослин;

ІГЕ-1 – насипний ґрунт: суглинок буровато-жовтий, сірий, з включенням гальки; в межах золошлаковідвалу – з включенням золи та шлаку;

ІГЕ-1а – шламовий матеріал (вміст чаші золошлаковідвалу): зола темно-сіра, з включенням шлаку, різного ступеня консолідації;

ІГЕ-1в – насипний ґрунт дамб: зола темно-сіра з включенням шлаку;

ІГЕ-1г – насипний ґрунт: шлак темно-сірий до чорного, різного ступеня консолідації;

ІГЕ-3 – суглинок буровато-жовтий з незначними прошарками супісків у верхній частині;

ІГЕ-3' – суглинок буровато-жовтий, водонасичений, м'якопластичний з незначними прошарками супісків, у нижній частині з включенням гальки до 20...30%;

ІГЕ-4 – гравійно-галечниковий ґрунт з піщано-глинистим заповнювачем до 20...40%, з окремими валунами (гравій і галька добре окатані), насичений водою;

ІГЕ-5 – глина голубувато-сіра, тверда.

## 2.2 Технічна характеристика золошлаковідвалу

Золошлаковідвал збудований в 1967 г. і призначений для роздільного складування золувих і шлакових відходів. З цією метою золошлаковідвал розділений на секції – золу № 1 та № 2, шлакову та аварійну (резервну).

Клас наслідків (відповідальності) золошлаковідвалу – СС2.

Площа золошлаковідвалу за відведенням земель становить 114,7 га, при цьому корисна площа складає 64 га, площа зі спорудами – 69 га.

Золошлаковідвал розташований за межами проммайданчика ТЕЦ у північно-східному напрямку на відстані 500 м від головного корпусу у верхній частині заплави р. Сапогів. Поверхневий стік р. Сапогів відводиться по спеціальному обвідному каналу у нижній б'єф.

Довжина золошлаковідвалу 2310 м, середня ширина – 480 м. З північно-східної сторони золошлаковідвалу розташована секція освітленої води та насосна станція освітленої води.

Абсолютні відмітки рельєфу в районі золошлаковідвалу складають 285,0...291,0 м. Зі східної сторони до золошлаковідвалу примикає насосна станція і секція освітленої води.

Спочатку золошлаковідвал був утворений трьома дамбами, що перегороджують заплаву р. Сапогів, і відділяють аварійну, шлакову і золу секції. Ємність шлакової секції склала 18,8 тис. м<sup>3</sup> при відмітці заповнення 294,0 м, ємність золової секції – 406 тис. м<sup>3</sup> при відмітці заповнення 291,0 м, ємність аварійної секції – 41 тис. м<sup>3</sup>.

Після заповнення секцій до проектних відміток для подальшої експлуатації золошлаковідвалу були виконані первинні огорожувальні дамби по його периметру для складування золошлакових відходів в обсязі 460 тис. м<sup>3</sup> в шлаковій секції, 1200 тис. м<sup>3</sup> в золовій секції і 36 тис. м<sup>3</sup> в аварійній секції.

При вичерпанні даних ємностей робочим проектом, виконаним у 1982 році ВАТ "НДПВІ "ЛЬВІВТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ", було передбачено

нарощування I ярусу золошлаковідвалу з розділенням золової секції на дві окремі – № 1 і № 2.

Проектні рішення повністю не реалізовані. На даний момент виконано нарощування I ярусу тільки в двох секціях – шлаковій і золовій № 1. Дані секції знаходяться в експлуатації – в шлакову секцію організовано скидання шлакової і золошлакової пульпи, в золову секцію № 1 – золової пульпи. Аварійна секція і золова секція № 2 на даний момент не придатні для експлуатації – в секціях не виконані в повному обсязі огорожувальні дамби, не побудовані шахтні водоскиди освітленої води.

Для повернення освітленої води в оборотний цикл ГЗВ золошлаковідвал обладнаний шахтними водоскидами № 2 і № 3, розташованими в шлаковій секції, і № 4 – в золовій секції № 1. Водоскиди № 1 і № 5 передбачалися відповідно в аварійній секції і золовій секції № 2, проте не були побудовані.

Дренажна система золошлаковідвалу складається з дренажного тюфяка в тілі огорожувальних дамб і дренажних каналів № 1...№ 3 для організованого відведення та скиду фільтраційних вод в оборотну систему ГЗВ. Однак будівництво дренажної каналу № 1 не завершено – відсутня ділянка каналу вздовж золової секції № 2 і випуск фільтраційних вод в придамбовий кювет. Випуски дренажних вод з дренажної каналу № 3 в канал освітленої води замулені і вимагають розчищення.

Таким чином дренажна система не виконує функцію повернення фільтраційних вод в оборотний цикл.

Спорудами гідрозахисту золошлаковідвалу Калуської ТЕЦ служать відкритий канал освітленої води і обвідний канал р. Сапогів.

Існуюча система золошлаковидалення – гідравлічна, зворотна з розділним видаленням та складуванням золи та шлаку. Системою зовнішнього гідрозоловидалення передбачена подача багерною насосною станцією золошлакової пульпи по 3 золошлакопроводам в секції золошлаковідвалу. Освітлена в секціях золошлаковідвалу вода через шахтні водоскиди і канал освітленої води поступає в озеро освітленої води, з якого насосною станцією осві-

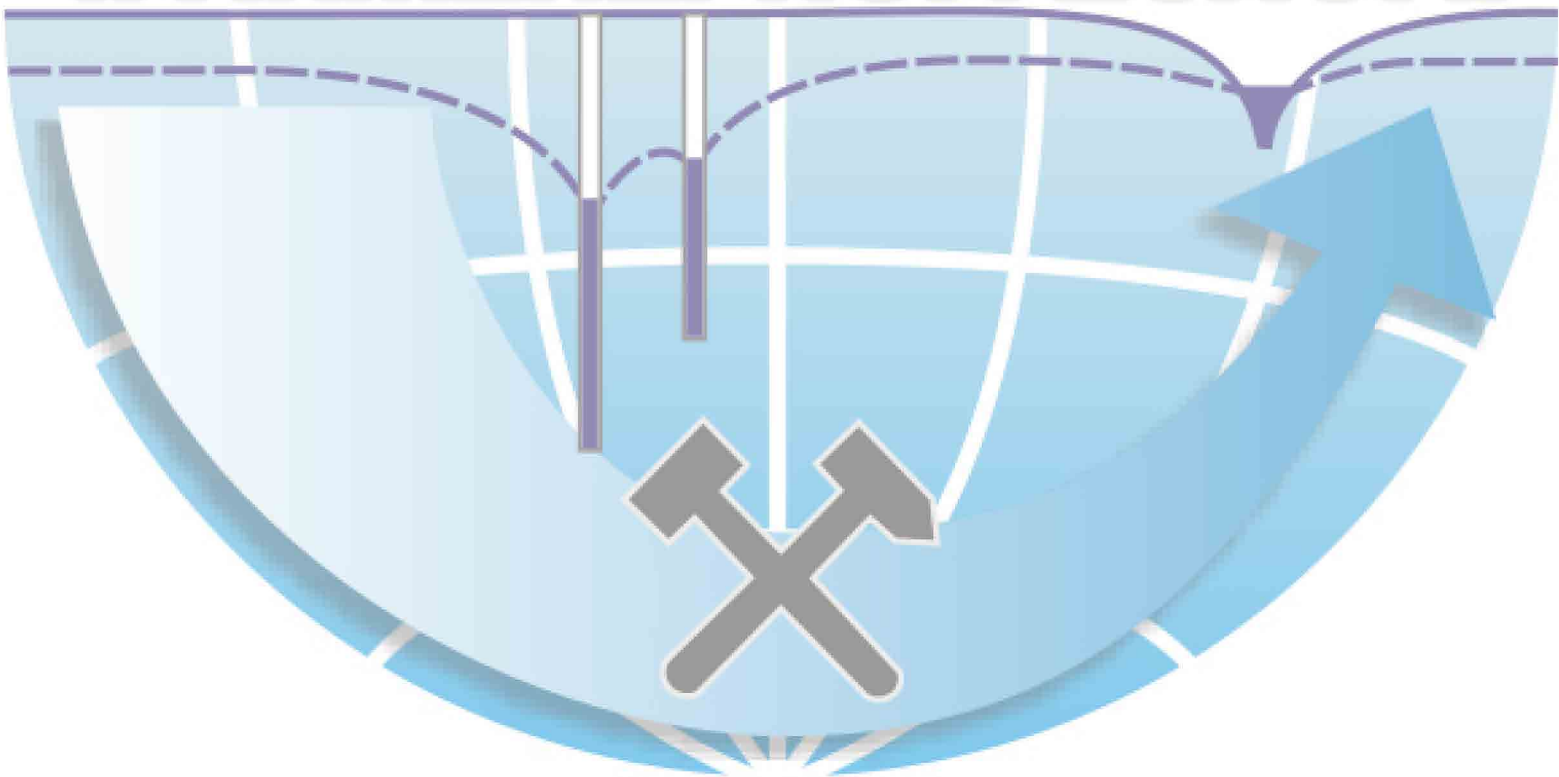
тленої води зворотна вода надходить в головний корпус для повторного використання.

Три нитки магістральних золошлакопроводів діаметром  $426 \times 12$  мм протяжністю 1600 м і  $426 \times 8$  мм протяжністю 1300 м і трубопровід освітленої води діаметром  $426 \times 7$  мм протяжністю 2610 м прокладені підземно на глибині 1,7...2,0 м.

Золошлаковідвал сильно заріс різною рослинністю (очерет, чагарник, дерева), особливо це стосується секції № 2 золошлаковідвалу, яка на даний час не експлуатується.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ





### 3 ПРОГНОЗ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ТА ГІДРОГЕОХІМІЧНОГО РЕЖИМІВ ДІЛЯНКИ ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ В УМОВАХ ЙОГО РЕКОНСТРУКЦІЇ

#### 3.1 Математичне забезпечення геофільтраційної та геоміграційної моделей

При дослідженні гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів ділянки золошлаковідвалу ДП Калуська ТЕЦ в умовах його реконструкції використана чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}, \quad (3.1)$$

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 (3.1) 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 (3.1) 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 про-

нумеровані 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 різницях для розрахункових блоків області фільтрації має вигляд:

$$\begin{aligned}
 & CR_{i,j-\frac{1}{2},k} (h_{i,j-1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} (h_{i,j+1,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} (h_{i-1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} (h_{i+1,j,k}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} (h_{i,j,k-1}^m - h_{i,j,k}^m) + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} (h_{i,j,k+1}^m - h_{i,j,k}^m) + \\
 & + P_{i,j,k} h_{i,j,k}^m + Q_{i,j,k} = SS_{i,j,k} (DEL R_j \cdot DEL C_i \cdot THICK_{i,j,k}) \frac{h_{i,j,k}^m - h_{i,j,k}^{m-1}}{t^m - t^{m-1}}, \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

де  $h_{i,j,k}^m$  – напір в блоці  $i, j, k$  на часовому кроці  $m$  (L);  $CV$ ,  $CR$  и  $CC$  – гідрравлічні 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 гідрравлічної провідності між вузлами, на відміну від гідрравлічної 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 (3.2) прирівнюється до нуля.

Застосування рівняння (3.2) 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 (4.2) приведено до вигляду:

$$\begin{aligned}
 & CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} h_{i,j,k-1} + CC_{i-\frac{1}{2},j,k} + CR_{i,j-\frac{1}{2},k} h_{i,j-1,k} + \\
 & + (-CV_{i,j,k-\frac{1}{2}} - CC_{i-\frac{1}{2},j,k} - CR_{i,j-\frac{1}{2},k} - \\
 & - CR_{i,j+\frac{1}{2},k} - CC_{i+\frac{1}{2},j,k} - CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} + HCOF_{i,j,k}) h_{i,j,k} + \\
 & + CR_{i,j+\frac{1}{2},k} h_{i,j+1,k} + CC_{i+\frac{1}{2},j,k} h_{i+1,j,k} + CV_{i,j,k+\frac{1}{2}} h_{i,j,k+1} = RHS_{i,j,k}.
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

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

В рівнянні (3.3)  $HCOF_{i,j,k}$  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  $VCONT$  використовуються вертикальні гідравлічні провідності  $k_{zz}$  і товщини різних гідрогеологічних одиниць (розрахункових шарів) в межах блоків, а розрахунок провідності виконується за формулою:

$$VCONT_{i,j,k+\frac{1}{2}} = \frac{1}{\frac{(THICK_{i,j,k})/2}{k_{i,j,k}^z} + \frac{(THICK_{i,k,k+1})/2}{k_{i,j,k+1}^z}}, \quad (3.4)$$

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 витрат, до яких відносяться живлення в межах модельованої області і на її контурах, інфільтраційне живлення, робота водозабірних і нагнітаючих свердловин, лінійних і площинних дренажних споруд 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 двовимірного масиву значень живлення для кожного блоку сітки в горизонтальній площині і додатково двовимірного 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), ви-

трата 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:

$$C = \frac{L \cdot W \cdot K}{M}, \quad (3.5)$$

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 контурами 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 гідрравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

$$C = \frac{(L \cdot W) \cdot K}{D}, \quad (4.6)$$

де  $L \cdot W$  – площа переріза потоку в блоці на зовнішньому контурі модельованої області, ( $L^2$ );  $K$  – середня гідрравлічна 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 дронування, що забезпечує відтік води), провідність на ділянці відтоку, що описує втрати напору між контуром дронування і системою підземних вод.

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

- для провідності на одиницю довжини

$$COND = RCHLNG \cdot LCOND; \quad (3.7)$$

- для провідності на одиницю площі

$$COND = DX \cdot DY \cdot SCOND, \quad (3.8)$$

де  $COND$  – провідність, ( $L^2/T$ ),  $RCHLNG$  – довжина контуру дренавання в кожному осередку сітки, ( $L$ );  $LCOND$  – провідність на одиницю довжини контуру дренавання 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 дренавання 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  $\Delta t_1$  може бути визначена із наступного виразу:

$$\Delta t_1 = PERLEN \left( \frac{TSMULT - 1}{TSMULT^{NSTP} - 1} \right). \quad (3.9)$$

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

Оцінка змін якісного складу підземних вод поширених на досліджуваній території водоносних горизонтів під впливом проектованої реконструкції золошлаковідвалу випереджаючої рекультивациі виконана за результатами адвективно-дисперсійного моделювання переносу розчинених речовин в потоці підземних вод.

Моделювання переносу розчиненої речовини в рухомому потоці вико-

нано з використанням пакета MT3D, реалізованого в програмного комплексу чисельного моделювання [13].

Рівняння, що описує перехід від моделі тривимірного нестационарного потоку підземних вод до моделі переносу розчиненої речовини, має вигляд

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \theta D_{ij} \frac{\partial C^k}{\partial x_j} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} (\theta v_i C^k) + q_s C_s^k + \sum R_n, \quad (3.10)$$

де  $C^k$  – концентрація розчиненої речовини  $k$ ;  $\theta$  – ефективна пористість;  $t$  – час;  $x_j$  – відстань уздовж відповідних осей декартових координат;  $D_{ij}$  – тензор коефіцієнтів гідравлічної дисперсії;  $v_i$  – швидкість фільтрації,  $v = q_i / \theta$ ;  $q_s$  – витрата на одиницю об'єму водоносного горизонту;  $C_s^k$  – концентрація джерела або поглиначка розчиненої речовини;  $\sum R_n$  – реакція хімічної взаємодії.

Основними параметрами, завдання яких проводиться при описі міграційної моделі, є: початкові концентрації розчиненої речовини в розрахункових шарах, концентрації речовини на гідродинамічних границях гідрогеологічних елементів модельованої області, концентрації по площі живлення і розвантаження (інфільтраційне живлення і випаровування), параметри міграції розчиненої речовини в пористому середовищі.

Гідравлічна дисперсія обчислюється за наступною формулою:

$$D = a_L \cdot \frac{V_L^2}{|v|} + a_H \frac{V_H^2}{|v|} + a_V \cdot \frac{V_V^2}{|v|} + D^*, \quad (3.11)$$

де  $D$  – гідравлічна дисперсія ( $L^2 / T$ );  $a_L$  – поздовжня дисперсивність,  $V_L$  – поздовжня швидкість потоку вздовж напрямку міграції ( $L / T$ );  $a_H$  – поперечна горизонтальна дисперсивність ( $L$ );  $V_H$  – горизонтальна швидкість потоку вздовж напрямку міграції ( $L / T$ );  $a_V$  – вертикальна дисперсивність ( $L$ );  $V_V$  – вертикальна швидкість потоку вздовж напрямку міграції ( $L / T$ );  $v$  – швидкість фільтрації ( $L / T$ );  $D^*$  – коефіцієнт дифузії ( $L^2 / T$ ).

Пакет MT3D дозволяє обчислювати тензор дисперсії для моделі пере-



носу мас за допомогою наступних параметрів:

- поздовжньої дисперсивності для кожного розрахункового блоку транспортної сітки;
- співвідношення горизонтальної поперечної дисперсивності для кожного шару;
- відношення поперечної горизонтальної та вертикальної дисперсивності до поздовжньої дисперсивності для кожного шару;
- коефіцієнта молекулярної дифузії для кожного шару.

### 3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

Розрахункова схематизація ділянки розташування золошлаковідвалу ДП Калуська ТЕЦ виконана виходячи з особливостей геологічної будови досліджуваної території, характеру залягання водоносних горизонтів і їх гідравлічних характеристик, фільтраційних властивостей водовмісних порід, наявності гідравлічного взаємозв'язку між поверхневими водами і водоносними горизонтами, характеру живлення і розвантаження за площею розвитку водоносних горизонтів і на їх контурах.

Основним об'єктом досліджень в геофільтраційній моделі є зона вільного водообміну, до якої відноситься товща обводнених алювіальних і елювіально-делювіальних відкладень в покрівлі водотривких неогенових глин, а також масив обводнених техногенних утворень, представлених золою і золошлаковим матеріалом в межах діючого золошлаковідвалу ДП Калуська ТЕЦ.

Відповідно до основних режимоутворюючих факторів, до яких в природних умовах відносяться розподілене по площі інфільтраційне живлення та дренажний вплив поверхневих водотоків, модельована область визначена в контурах основних геоморфологічних елементів і складових гідрографічної мережі.

З урахуванням просторового положення зазначених границь розміри модельованої області визначені в межах умовних прямокутних координат

1000...6000 м у широтному і меридіональному напрямках при загальній площі модельованої області 25,0 км<sup>2</sup>.

Розміри розрахункових блоків прийняті рівними 50x50 м, що дозволило з достатньою детальністю відобразити конфігурацію секцій золошлаковідвалу та огорожувальних споруд, а також гіпсометрію поверхонь модельованих породних шарів, контури внутрішніх гідродинамічних границь і рівневі поверхні водоносних горизонтів (рис. 3.1).

Використання в геофільтраційній моделі рівномірної сітки при заданому рівні деталізації забезпечує отримання більш стійких чисельних рішень в порівнянні з нерівномірними сітками.

Структура моделі відповідно до геологічної будови території і характеру залягання розвинених в її межах водоносних горизонтів приведена до шестистарової товщі, яка враховує проектоване нарощування шлакової і золівих секцій золошлаковідвалу (рис. 3.2). У якості нижньої границі в моделі прийнята умовна поверхня в межах товщі водотривких неогенових глин.

Відповідно до прийнятої структури розрахункові шари в геофільтраційній моделі представлені наступним чином:

1 шар – водоносний – представлений товщею техногенних відкладень золошлакового матеріалу (ІГЕ-1а,1в) в інтервалі проектованого нарощування шлакової і золівих секцій № 1 і № 2 на висоту до 5,0 м;

2 шар – водоносний – складений обводненою товщею існуючих техногенних відкладень золошлакового матеріалу (ІГЕ-1а,1в) в межах аварійної, шлакової і золівих секцій № 1 і № 2 золошлаковідвалу потужністю до 9,0 м;

3 шар – слабопроникний – представлений товщею елювіально-делювіальних суглинків четвертинного віку (ІГЕ-3) загальною потужністю до 14,5 м;

4 шар – слабопроникний – представлений товщею елювіально-делювіальних суглинків четвертинного віку з прошарками супісків (ІГЕ-3') загальною потужністю до 2,0 м;

5 шар – водоносний – в межах модельованої товщі представлений гра-  
війно-галечниковим ґрунтом з піщано-глинистим заповнювачем (ПГЕ-4), з  
окремими валунами, середньою потужністю 3,0 м;

5 шар – водотривкий – складений неогеновими глинами блакитно-  
сірими (ПГЕ-5), розкритою потужністю до 6,0 м.

Характер залягання розрахункових шарів і їх потужності встановлені за  
результатами буріння розвідувальних свердловин і стратиграфічного розчле-  
нування порідної товщі, і відображають загальні закономірності геологічної  
будови і тектонічних особливостей досліджуваної території.

У якості границь на зовнішніх північно-західному і південно-східному  
контурах моделі задані гідродинамічні границі із забезпеченим живленням  
( $Q = f(H)$ ), які встановлені у відповідно до загальної гідродинамічної схеми  
досліджуваної території і визначаються положенням річок Пічеси, Фрумилів  
та Кропивник (рис. 3.1, 3.2).

Внутрішньою гідродинамічною границею на ділянці золошлаковідвалу  
є річка Сапогів, яка в межах модельованої області також задана граничною  
умовою  $Q = f(H)$ .

Значення розрахункових параметрів і величин гідравлічних напорів на  
зовнішніх границях модельованої області, встановлені згідно з осередненими  
значеннями гідравлічної проникності розрахункових шарів і їх положенням у  
вертикальному розрізі, наведені в табл. 3.1.



Рисунок 3.1 – Кінцево-різницева дискретизація модельованої області

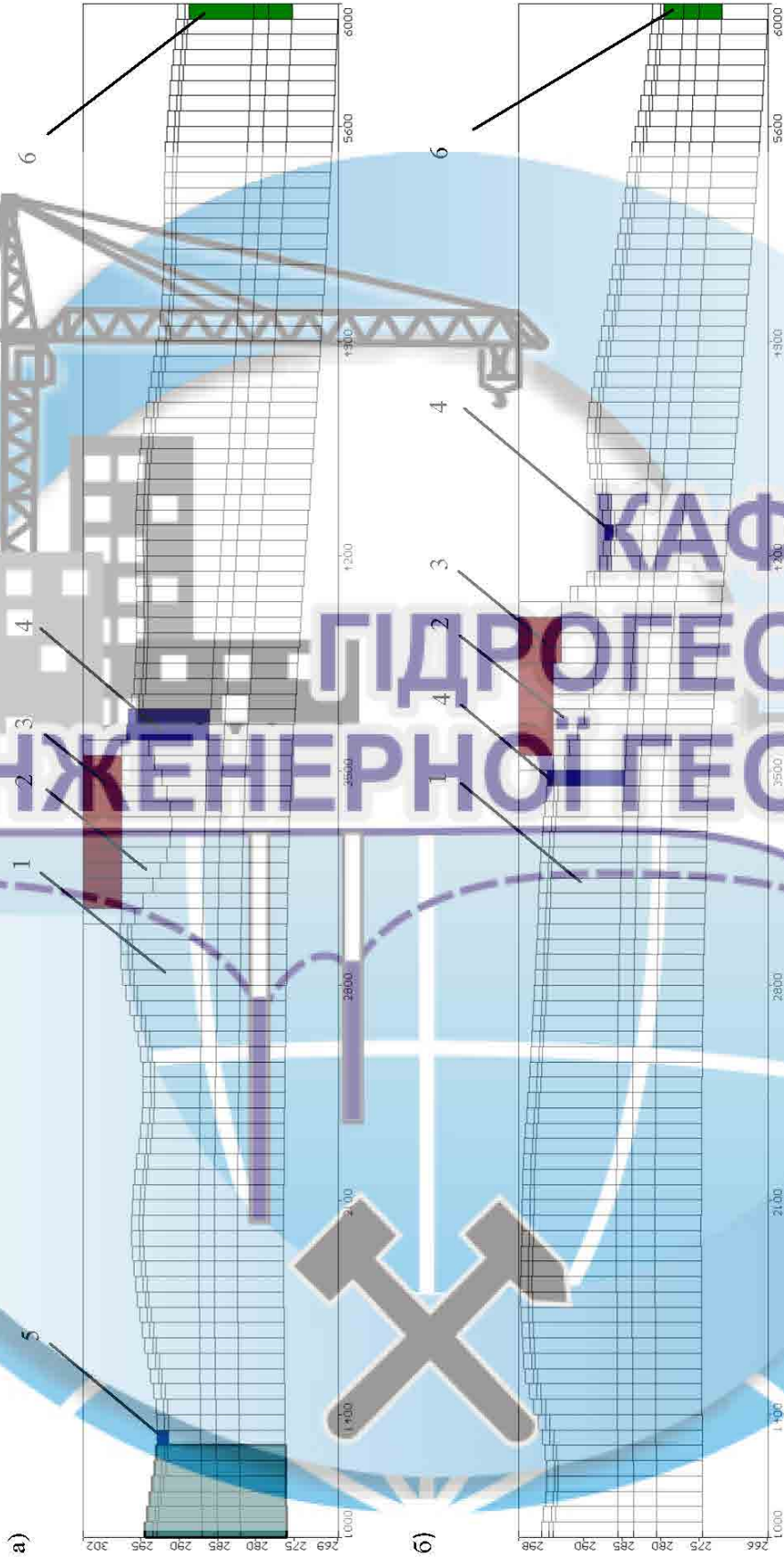


Рисунок 3.2 – Структура модельованої області у вертикальному перерізі – меридіональний (а) та широтний (б) напрямки: 1 – ґрунтова основа; 2 – техногенні відкладення; 3 – золошлаковідвал, границя з забезпеченим живленням ( $H = Const$ ); 4 – р. Сапотів ( $Q = f(H)$ ); 5 – р. Фрумилів ( $Q = f(H)$ ); 6 – границя з віддаленим забезпеченим живленням ( $Q = f(H)$ )

Величини розрахункових гідравлічних напорів на зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границях (абсолютні відмітки рівнів річкових вод) встановлені згідно з картографічними даними відповідно до відміток рівнів води в річкових системах, а зв'язок поверхневих вод з водоносними горизонтами в чисельній моделі визначений відповідно до величин гідравлічної провідності підруслових відкладень (табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівня, м	Водопровідність, м <sup>2</sup> /доб
Шар 3	279,5...280,0	0,032...0,105
Шар 4	279,5...280,0	0,012...0,038
Шар 5	279,5...280,0	14,250

Таблиця 3.2 – Параметри зовнішніх і внутрішніх гідродинамічних границь модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні відмітки рівнів води, м	Абсолютні відмітки рівнів підосви підруслових відкладень, м	Водопровідність підруслових відкладень, м <sup>2</sup> /доб
Річка Пічеси	280,0...290,0	279,5...289,5	11,91...53,15
Річка Сапогів	278,0...302,0	277,5...301,5	1,78...81,50
Річка Фрумилів	292,0...295,0	291,5...294,5	41,66...138,10
Річка Кропивник	278,0...292,0	277,5...291,5	11,85...144,13
Секція освітленої води	285,0	284,5	250,0
Очисні споруди хімкомбінату	296,0	295,5	250,0

Фільтраційні параметри в межах розрахункових шарів в геофільтраційній моделі задані згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань, отриманими за результатами вивчення властивостей ґрунтів і складованих до золашлаковідвалу золашлакових матеріалів в лабораторних і польових умовах [21,23].

До розрахунку були прийняті значення коефіцієнтів фільтрації, пружної і гравітаційної водовіддачі відповідно до діапазонів значень, наведених в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, $K$ ( $K_x = K_y / K_z$ ), м/доб	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, $\mu$ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, $\mu^*$ , дол. од.
Шар 1	0,02...0,5 / 0,02...0,5	0,08...0,1	0,0001
Шар 2	0,02...0,5 / 0,02...0,5	0,08...0,1	0,0001
Шар 3	0,05 / 0,05	0,08	0,0001
Шар 4	0,05 / 0,05	0,08	0,0001
Шар 5	19,0 / 19,0	0,2	0,0001
Шар 6	0,005 / 0,005	0,01	0,0001

При відсутності вираженої зональності гідралічних характеристик в межах розрахункових шарів в чисельній моделі їх величини задані осередненими значеннями в межах всієї площі поширення.

Інфільтраційне живлення по площі моделі встановлено рівним 16,5 мм/рік, що становить величину близько 2,5% від загальної кількості атмосферних опадів, рівної згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27: 210 "Будівельна кліматологія" 655,0 мм/рік.

Виділення в межах досліджуваної території істотно різних за живленням зон не виконувалось, оскільки частка атмосферних опадів, що надходить на рівень ґрунтових вод, в умовах, що розглядаються, визначається різноспрямованою дією сукупності факторів – характеру рельєфу, наявності рослинності, ухилів денної поверхні, проникності порід зони аерації та інш.

Методикою моделювання передбачалось вирішення задач прогнозу оцінки змін гідродинамічного режиму на ділянці розташування золошлаковідвалу відповідно до прийнятої просторово-часової схеми складування золошлакоматеріалів.

При вирішенні задач нестационарної фільтрації розрахунковий час відповідав періоду від початку реконструкції або будівництва другого ярусу нарошування золошлаковідвалу до його заповнення до відміток 302,5 і 298,5 м відповідно для аварійної, шлакової і золової секцій № 1 і золової секції № 2,

становив 10 років (4000 діб) в межах загального розрахункового періоду 25 років (10000 діб).

Основним фактором, що визначає формування гідродинамічного режиму на ділянці золошлаковідвалу, є рівень техногенного живлення водоносного горизонту в четвертинних елювіально-делювіальних і алювіальних відкладеннях в умовах підпертого стану підземних вод за рахунок нарощування другого ярусу золошлаковідвалу.

Величина техногенного живлення в межах секцій золошлаковідвалу в чисельній моделі визначалась завданням в його контурах умови забезпеченого живлення  $H = Const$  (див. рис. 3.1, 3.2). Значення гідравлічних напорів в існуючому стані золошлаковідвалу відповідали положенню рівневої поверхні золошлакоматеріалів ( $H = 293,0 \dots 301,0$  м), а в умовах проектного нарощування – відміткам заповнення золошлаковідвалу аварійної, шлакової і золової секції № 1 ( $H = 302,5$  м) та золової секції № 2 ( $H = 298,5$  м).

При оцінці впливу реконструкції золошлаковідвалу на гідрогеохімічний режим водоносних горизонтів показником їх стану був загальний вміст розчинених речовин, представлених переважно макрокомпонентами. Основним показником, що характеризує техногенний вигляд досліджуваної території з урахуванням специфіки досліджуваного об'єкту, є вміст в підземних і поверхневих водах сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ .

Згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань мінералізація підземних вод на ділянці золошлаковідвалу охарактеризована наступними значеннями [23]: підземні води в межах золошлаковідвалу – 508,0...1472,0 мг/л; підземні води четвертинного горизонту елювіально-делювіальних відкладень (за даними режимних спостережень) – 251,0...342,0 мг/л; вода в річці Сапогів в межах модельованої області – 195,6...512,0 мг/л.

Вміст сульфат-іону характеризується величинами: підземні води в межах золошлаковідвалу – 90,5...438,7 мг/л, ґрунтові води четвертинного горизонту елювіально-делювіальних відкладень (за даними режимних спостережень) – 5,65...24,9 мг/л, вода в річковій мережі – 34,03...120,2 мг/л.



Прийняті в міграційній моделі початкові значення концентрації розчинених речовин в межах розрахункових шарів, вміст сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , а також розрахункові гідрохімічні параметри наведені в табл. 3.4.

Для умов площинного живлення ґрунтового водоносного горизонту фонові значення мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  для елювіально-делювіальних і алювіальних відкладень задані рівними їх початковим значенням у першому від поверхні водоносному горизонті.

Пружна ємність, гравітаційна ємність і ефективна пористість для кожного шару моделі задавалися постійними величинами, які не змінюються по площі розрахункових шарів. Їх величини встановлені згідно з даними, наведеними в [1] для характерних літологічних різностей порід.

Значення константи поздовжньої гідравлічної дисперсивності для літологічних різностей модельованої товщі представлені узагальненими значеннями, рівними 1,0 м і 0,1 м відповідно для водопроникних і слабопроникних шарів.

Таблиця 3.4 – Початкові і розрахункові гідрогеохімічні параметри модельованої області

Розрахунковий шар	Гідро геохімічні параметри			
	Початкова концентрація розчинених речовин, $C_1$ , мг/л	Початкова концентрація сульфат-іону, $SO_4^{2-}$ , $C_2$ , мг/л	Ефективна пористість, $n_e$ , дол. од.	Поздовжня, поперечна і вертикальна дисперсивності, $a_L/a_H/a_V$ , м
Шар 1	618,0	96,0	0,08...0,10	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 2	618,0	96,0	0,08...0,10	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 3	319,0	22,5	0,08	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 4	319,0	22,5	0,08	0,1 / 0,01 / 0,001
Шар 5	319,0	22,5	0,20	1,0 / 0,1 / 0,01
Шар 6	319,0	22,5	0,05	0,1 / 0,01 / 0,001

Величини поперечної горизонтальної і вертикальної дисперсивності пропорційні величині поздовжньої дисперсивності з коефіцієнтами пропорційності, що дорівнюють відповідно 0,1 і 0,01 (див. табл. 3.4).

При вирішенні прогнозних міграційних задач зміна гідрогеохімічного режиму модельованих шарів визначалася розсіюванням розчинених речовин, що надходять у складі інфільтраційного живлення, в межах площі золошлаковідвалу.

Розрахунки виконані на кінцевий період формування золошлаковідвалу відповідно до прийнятої просторово-часової схеми складування золошлакоматеріалів на період 10, 15 і 25 років ( $t = 4000, 6000$  і  $10000$  діб).

### 3.3 Аналіз змін гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів на ділянці золошлаковідвалу

За даними прогнозних розрахунків встановлено, що формування гідродинамічного режиму на ділянці золошлаковідвалу ДП Калуська ТЕС зумовлено підвищенням техногенним живленням в межах його чаші, яке пов'язане з експлуатацією золошлаковідвалу та проектуванням нарощуванням другого ярусу.

Положення рівневої поверхні ґрунтових вод на період до початку будівництва другого ярусу золошлаковідвалу та на період завершення процесу складування золошлакоматеріалів наведено рис. 3.3 та 3.4.

Аналіз результатів вирішення прогнозних геофільтраційних задач показує, що при проектуваному нарощуванні другого ярусу золошлаковідвалу відбувається, зважаючи на характер гідравлічної взаємодії техногенних відкладень з водоносними горизонтами, відповідне підняття рівнів підземних вод на прилеглий до золошлаковідвалу території.

Так, при досягненні проектних відміток поверхні золошлаковідвалу ( $t = 4000$  діб) рівень води в межах огорожувальних споруд ярусів нарощування секцій золової № 2 і шлакової – золової № 1 досягає відміток відповідно  $296,9...298,5$  та  $300,8...301,9$  м, а на прилеглий до золошлаковідвалу території знаходиться на абсолютних відмітках  $291,6...298,5$  м, що відповідає підвищенню рівнів води відносно їх існуючого положення на величину до

1,0... 1,4 м в межах смуги шириною до 500 м, до 1,5... 2,5 м в межах смуги до 100 м від золошлаковідвалу, та до 5,0 м – безпосередньо в контурах огорожувальних споруд (рис. 3.5).

В зазначених умовах прилегла до золошлаковідвалу територія в районі золової № 1 та шлакової секцій в межах 200... 350 м є підтоплюваною з обох сторін золошлаковідвалу.



Рисунок 3.3 – Положення рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, м



Рисунок 3.4 – Прогнозне положення рівневої поверхні четвертинного водоносного горизонту на кінцевий період експлуатації золошлаковідвалу –  $t = 4000$  діб, м

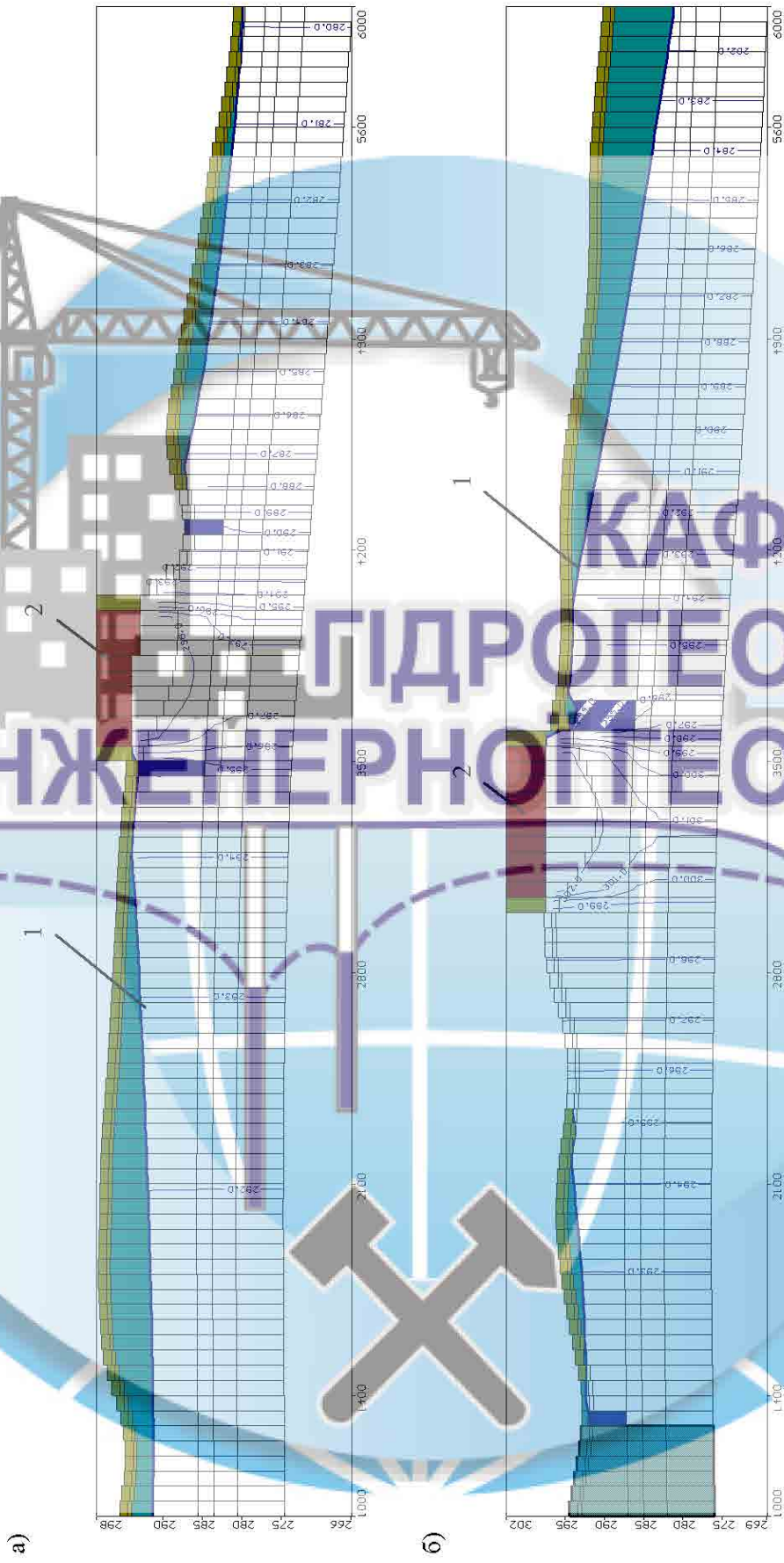


Рисунок 3.5 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території на кінцевий період експлуатації золотшлаковідвалу – меридіональний (а) та піротний (б) напрямки: 1 – рівнева поверхня, м; 2 – золотшлаковідвал ( $H = Coast$ )

Зміна рівнів ґрунтових вод на прилеглий території відбувається впродовж проектного терміну нарощування золошлаковідвалу і зумовлюється абсолютними відмітками золошлакоматеріалів в його секціях. При цьому поверхня ґрунтових вод, що формується на кінцевий термін експлуатації золошлаковідвалу ( $t = 4000$  діб), залишається майже незмінною впродовж всього розрахункового періоду  $t = 10000$  діб.

Складова фільтраційних втрат із золошлаковідвалу в загальному балансі досліджуваної території становить  $2888,80 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $33,44 \text{ л/с}$ ) до початку нарощування дамб, та збільшується до  $5946,30 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $68,82 \text{ л/с}$ ) на кінцевий термін його експлуатації ( $t = 4000$  діб).

З огляду на те, що для даної території характерною є добре розвинута річкова мережа, в загальному балансі модельованої області значна роль належить складовій розвантаження до річок, яка збільшується в процесі експлуатації золошлаковідвалу з  $3590,50 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $41,56 \text{ л/с}$ ) до  $5661,80 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $65,53 \text{ л/с}$ ).

Зміна загального балансу модельованої області, яка зумовлена нарощуванням золошлаковідвалу, на розрахункові терміни характеризується співвідношенням балансових складових, наведених в табл. 3.5.

За результатами міграційних розрахунків встановлено, що формування зон з підвищеним вмістом розчинених речовин і сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  в техногенно порушених умовах відбувається безпосередньо під золошлаковідвалом і в межах контуру розсіювання на прилеглих до золошлаковідвалу ділянках згідно з загальним напрямком руху підземних вод уздовж річки Сапогів та у бік річок Пічеси і Кропивник (рис. 3.6, 3.7 та 3.8, 3.9).

Таблиця 3.5 – Балансові складові модельованої області, м<sup>3</sup>/доб

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Зворотна задача	Інфільтраційне живлення	849,18	-
	Взаємозв'язок з річками	829,66	3590,50
	Витрати по контуру	8,48	988,08
	Витрати із золошлаковідвалу	2888,80	136,34
	Всього	4576,10	4715,00
	Похибка		-138,81
	Нев'язка, %		-2,99
10 років (4000 діб)	Інфільтраційне живлення	849,18	-
	Взаємозв'язок з річками	455,79	5661,80
	Витрати по контуру	7,91	1059,10
	Витрати із золошлаковідвалу	5946,30	381,93
	Ємнісна складова	0,02	155,08
	Всього	7259,10	7257,90
	Похибка		1,27
Нев'язка, %		0,02	
15 років (6000 діб)	Інфільтраційне живлення	849,18	-
	Взаємозв'язок з річками	444,8	5741,70
	Витрати по контуру	7,78	1081,9
	Витрати із золошлаковідвалу	5918,10	384,01
	Ємнісна складова	-	13,82
	Всього	7219,8	7221,5
	Похибка		-1,65
Нев'язка, %		-0,02	
25 років (10000 діб)	Інфільтраційне живлення	849,18	-
	Взаємозв'язок з річками	445,06	5744,00
	Витрати по контуру	7,77	1082,80
	Витрати із золошлаковідвалу	5917,50	384,05
	Ємнісна складова	-	0,31
	Всього	7219,60	7211,10
	Похибка		8,44
Нев'язка, %		0,12	

Визначальну роль в міграції розчинених компонентів відіграє наявність в геологічному розрізі досліджуваної території шару добре проникних алювіальних гравійно-галечникових відкладень, що підстилають товщу елювіально-делювіальних суглинків.

Водопроникність гравійно-галечникових відкладень, встановлена за даними інженерно-геологічних вишукувань, більш ніж на два порядки перевищує гідравлічну проникність елювіально-делювіальних суглинків. В зв'язку з цим, в елювіально-делювіальних відкладеннях міграція розчинених

речовин спостерігається переважно у вертикальному розрізі до гравійно-галечникових відкладень, де відбувається їх більш інтенсивне просування в горизонтальному напрямку до контурів розвантаження підземних вод (рис. 3.10, 3.11).

При середній мінералізації води, що надходить із золошлаковідвалу, рівній встановленій за результатами інженерно-геологічних вишукувань 618,0 мг/л, у елювіально-делювіальних відкладеннях формування ореолу з підвищеною мінералізацією підземних вод відбувається безпосередньо навколо золошлаковідвалу в межах смуги шириною до 150 м на його бокових контурах, та до 200 м – уздовж русла р. Сапогів (див. рис. 3.6).

Аналогічний ореол у суглинках формується і для сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , який входить до макрокомпонентного складу підземних вод в межах ореолу з підвищеною мінералізацією (див. рис. 3.7).

Встановлені за результатами вирішення обернених задач величини мінералізації і концентрацій сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  відповідають величинам, зафіксованим в існуючих умовах і встановленим за даними режимних спостережень і інженерно-геологічних вишукувань. Так, для підземних вод в елювіально-делювіальних відкладеннях розрахункові значення мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  за межами золошлаковідвалу складають відповідно 319...596 і 20,0...100,0 мг/л, а відповідні їм фактично зафіксовані величини - 319,0...860,0 і 13,01...125,7 мг/л.

Для підземних вод алювіального водоносного горизонту, приуроченого до гравелисто-галечникових відкладень (в основі елювіально-делювіальних суглинків), значення мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , встановлені за даними розрахунків в умовах існуючого розсіювання розчинених речовин, становлять відповідно 323,0...617,0 і 40,0...110,0 мг/л (див. рис. 3.8 і 3.9), а зафіксовані на період проведення інженерно-геологічних вишукувань фактичні значення мінералізації і вмісту сульфат-іону – відповідно 508,0 і 65,8 мг/л (гідрогеологічна свердловина № 2Г).



Отримані за результатами моделювання розрахункові величини мінералізації і вмісту сульфат-іону в підземних водах алювіального горизонту на контурах річок Пічеси, Фрумилів і Кропивник в існуючих умовах характеризуються значеннями відповідно 317,5...533,3 і 35,0...95,0 мг/л.

За умови проектного нарощування золошлаковідвалу очікувані зміни в розподілі величин мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  в межах досліджуваної території можуть бути охарактеризовані як несуттєві, оскільки при збереженні існуючого загального вигляду в міграції розчинених речовин мінералізація і вміст сульфат-іону в абсолютному вираженні характеризується величинами, що не перевищують значень 615,0 і 118,0 мг/л і знаходяться в межах діапазону значень, встановлених для існуючого стану ділянки золошлаковідвалу (рис. 3.12, 3.13 та 3.14, 3.15).

Так, за умови основного напрямку підземного потоку від золошлаковідвалу у бік зони розвантаження у шарі алювіальних гравійно-галечникових відкладень мінералізація і вміст сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  на розрахунковий період експлуатації золошлаковідвалу 10 років змінюються відповідно від 340 до 617,8 мг/л та від 40,0 до 115,0 мг/л, і на контурах річок Пічеси, Фрумилів і Кропивник становлять відповідно 500...540 мг/л і 100...108 мг/л (рис. 3.16, 3.17).

Це ж стосується і впливу реконструкції золошлаковідвалу на річку Сапогів – згідно з виконаними розрахунками на кінцевий період експлуатації золошлаковідвалу мінералізація підземних вод вздовж русла річки на відстані 1,0 км від золошлаковідвалу характеризується величиною 350 мг/л, а вміст сульфат-іону – 75...100 мг/л, що фактично відповідає існуючому стану в розподілі оцінюваних компонентів.

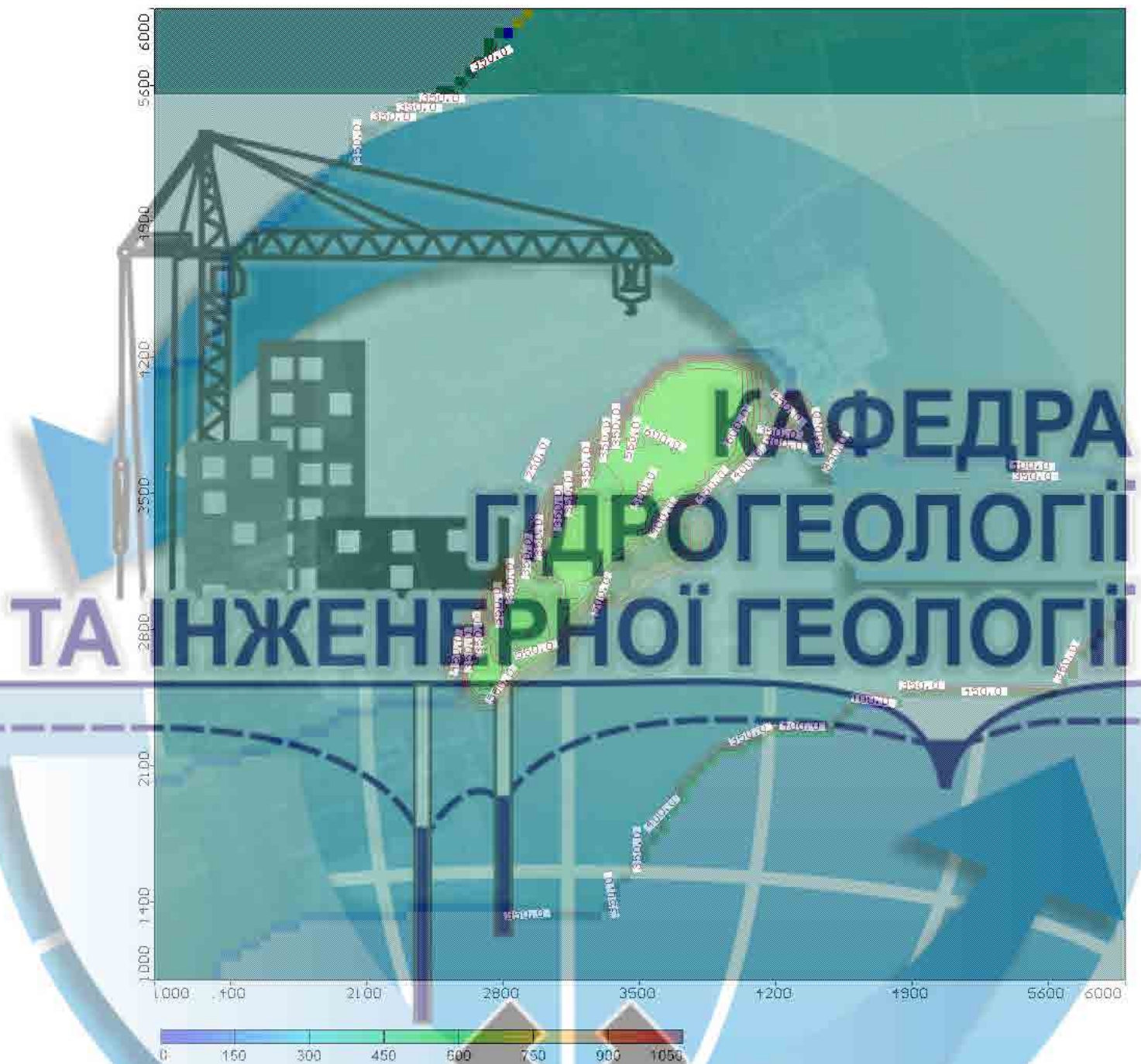


Рисунок 3.6 – Мінералізація підземних вод в елювіально-делювіальних суглинках за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, мг/л



Рисунок 3.7 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах елювіально-делювіальних суглинків за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, мг/л

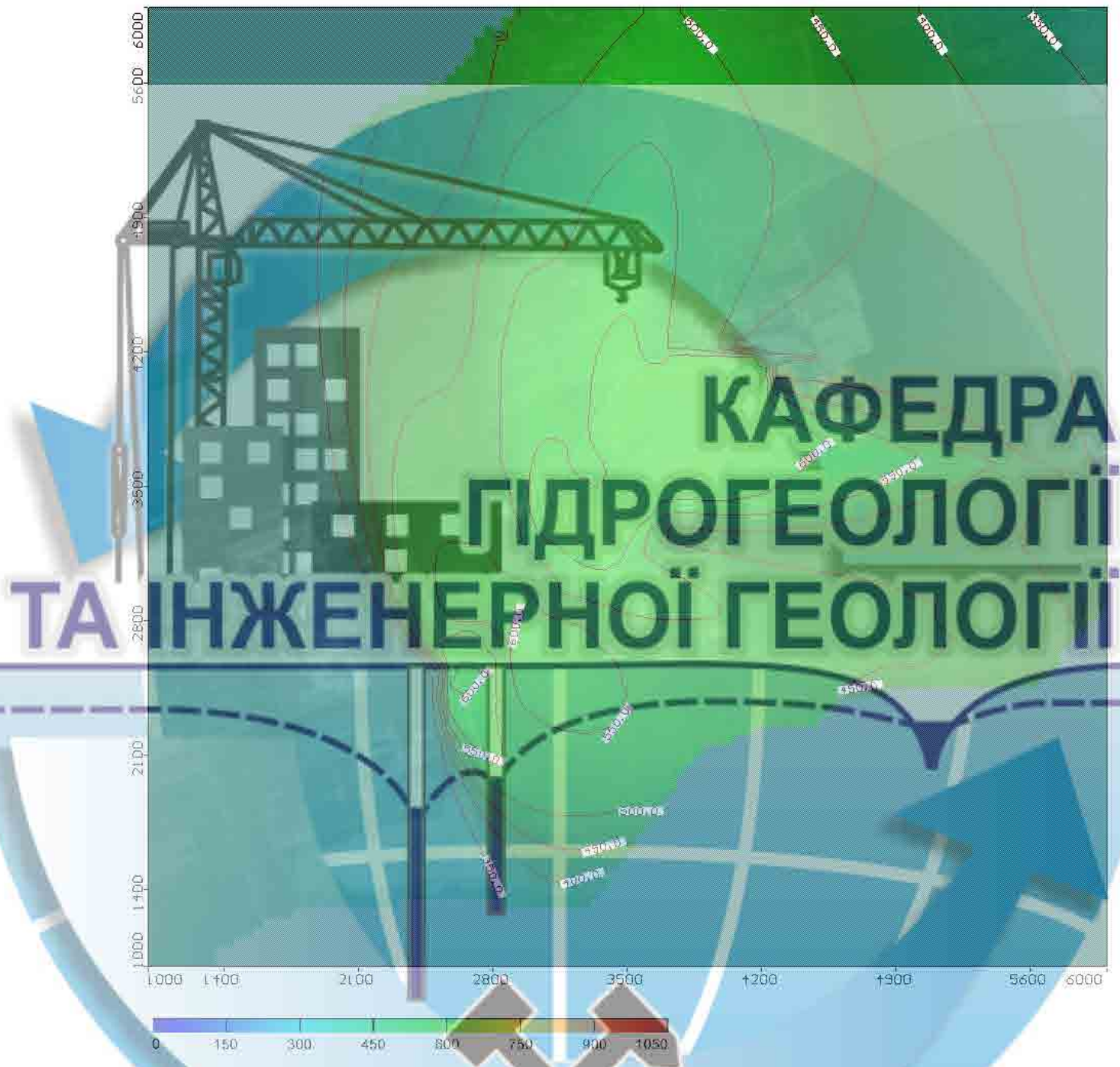


Рисунок 3.8 – Мінералізація підземних вод алювіальних гравійно-галечникових відкладень за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, мг/л

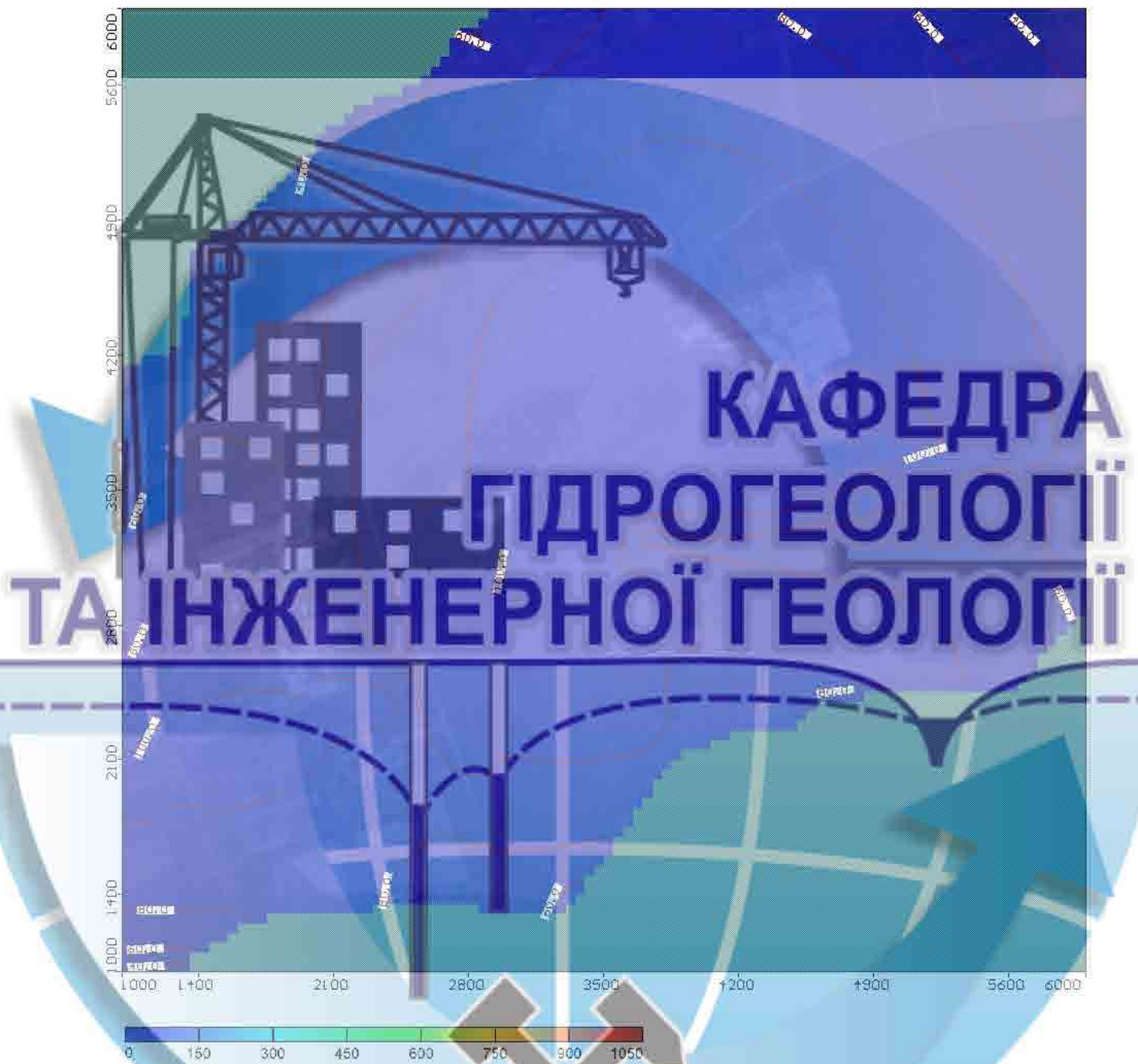


Рисунок 3.9 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах алювіальних гравійно-галечникових відкладень за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, мг/л

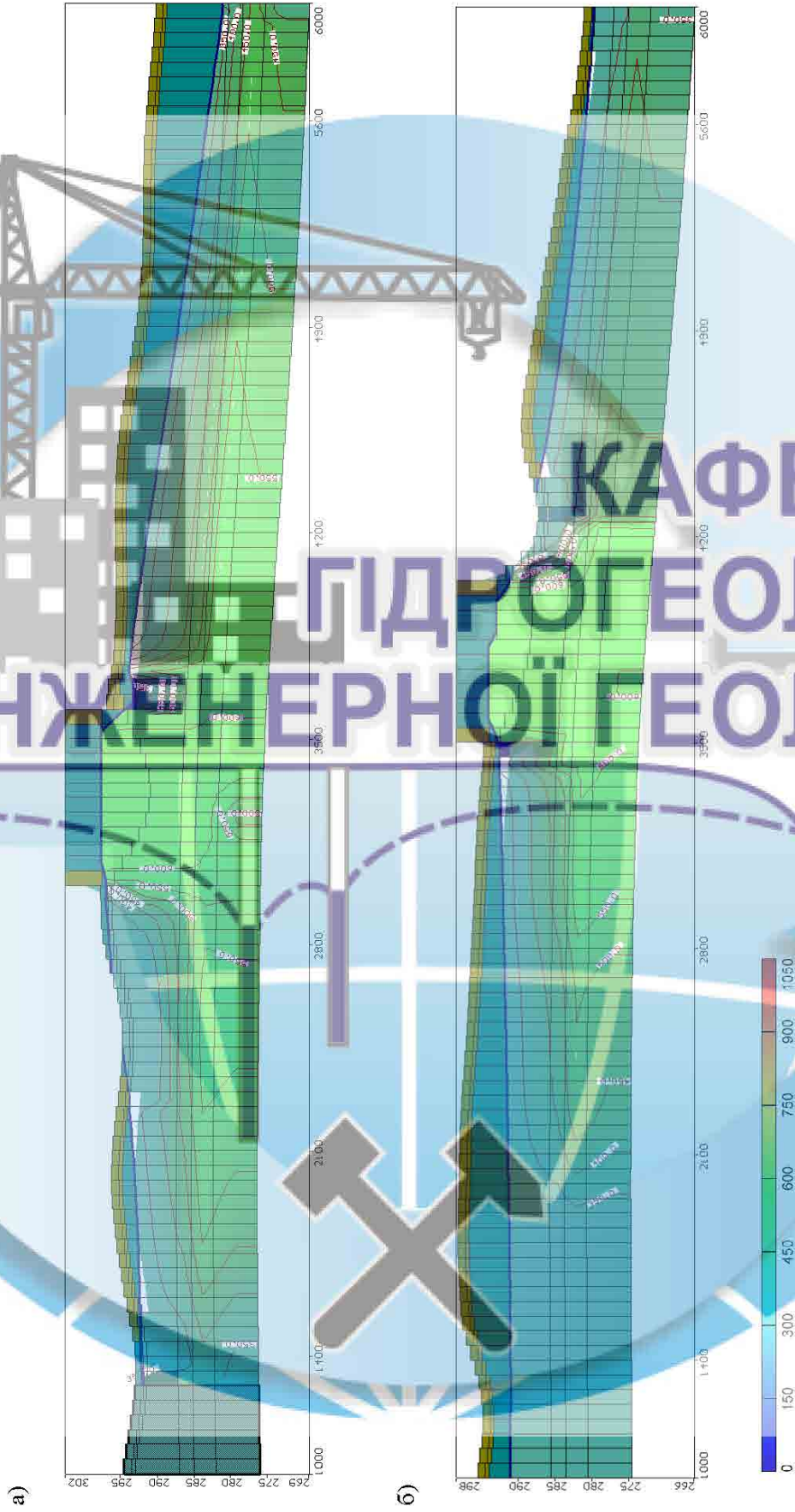


Рисунок 3.10 – Розподіл мінералізації підземних вод у вертикальному перерізі за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, меридіональний (а) та широтний (б) напрямки, мг/л

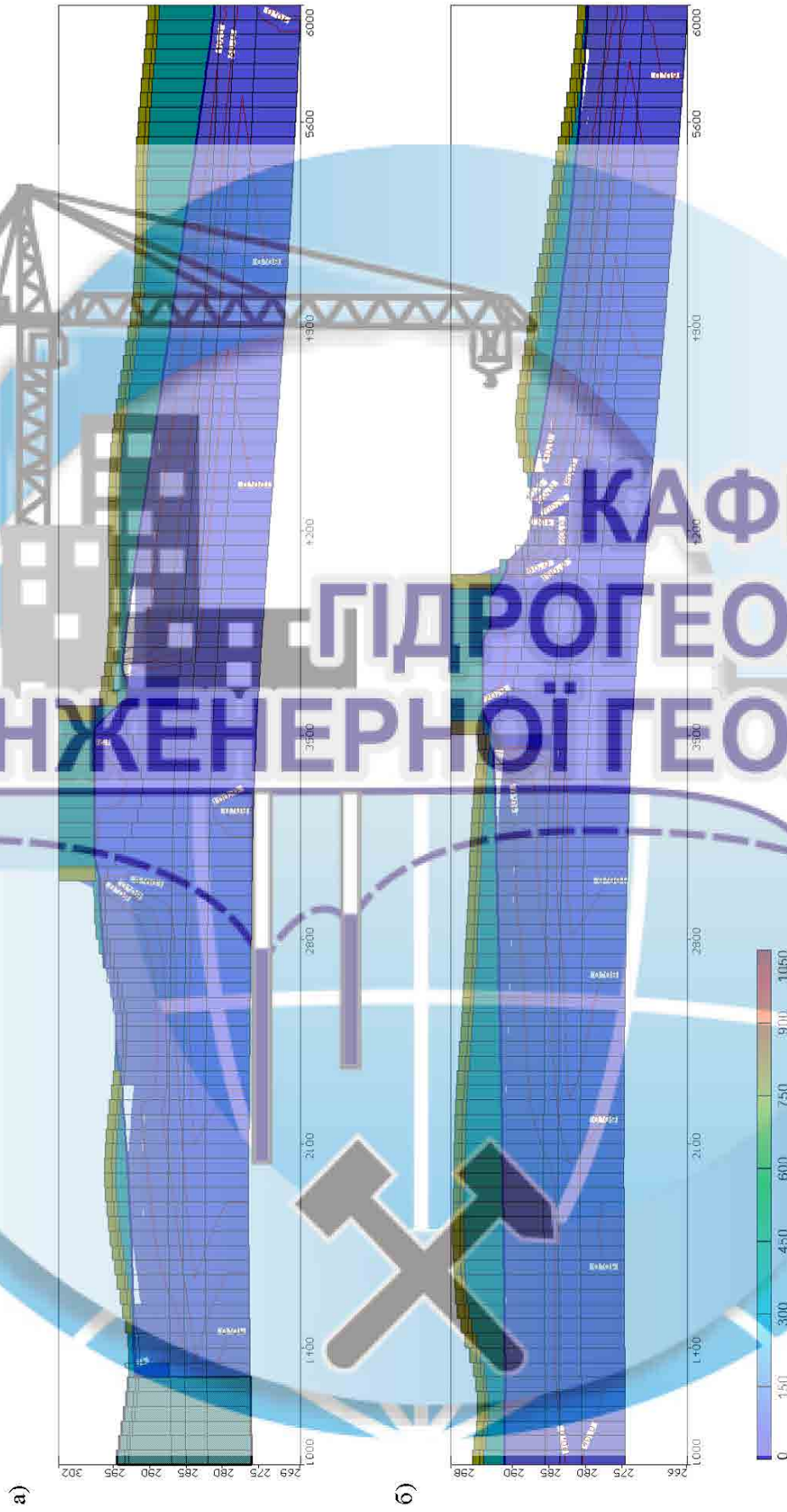


Рисунок 3.11 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах у вертикальному перерізі за результатами вирішення зворотної задачі – існуючий стан, меридіональний (а) та широтний (б) напрямки, мг/л

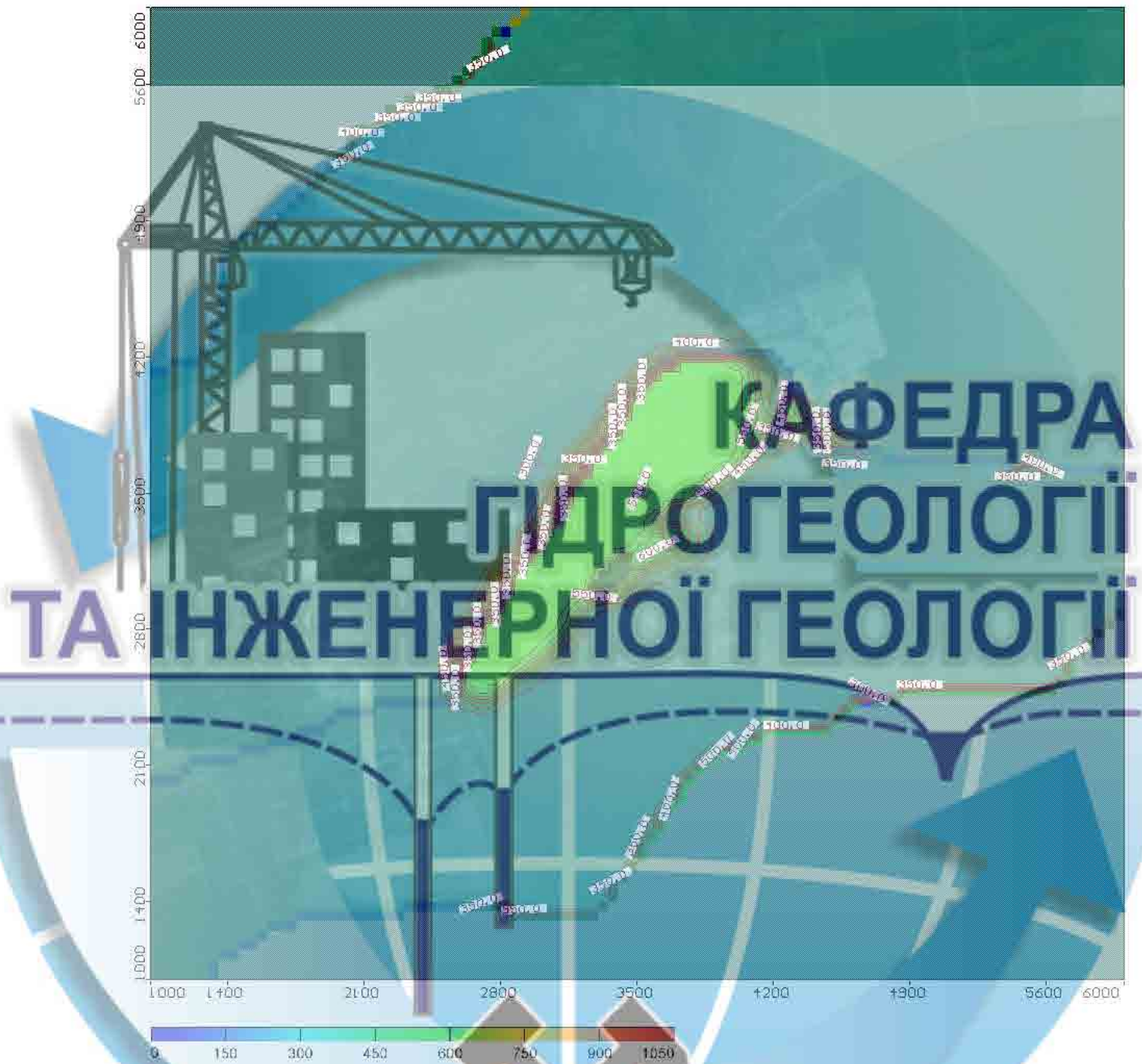


Рисунок 3.12 – Мінералізація підземних вод в елювіально-делювіальних суглинках на кінець проектованого терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 діб), мг/л





Рисунок 3.13 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах елювіально-делювіальних суглинків на кінець проектованого терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 діб), мг/л

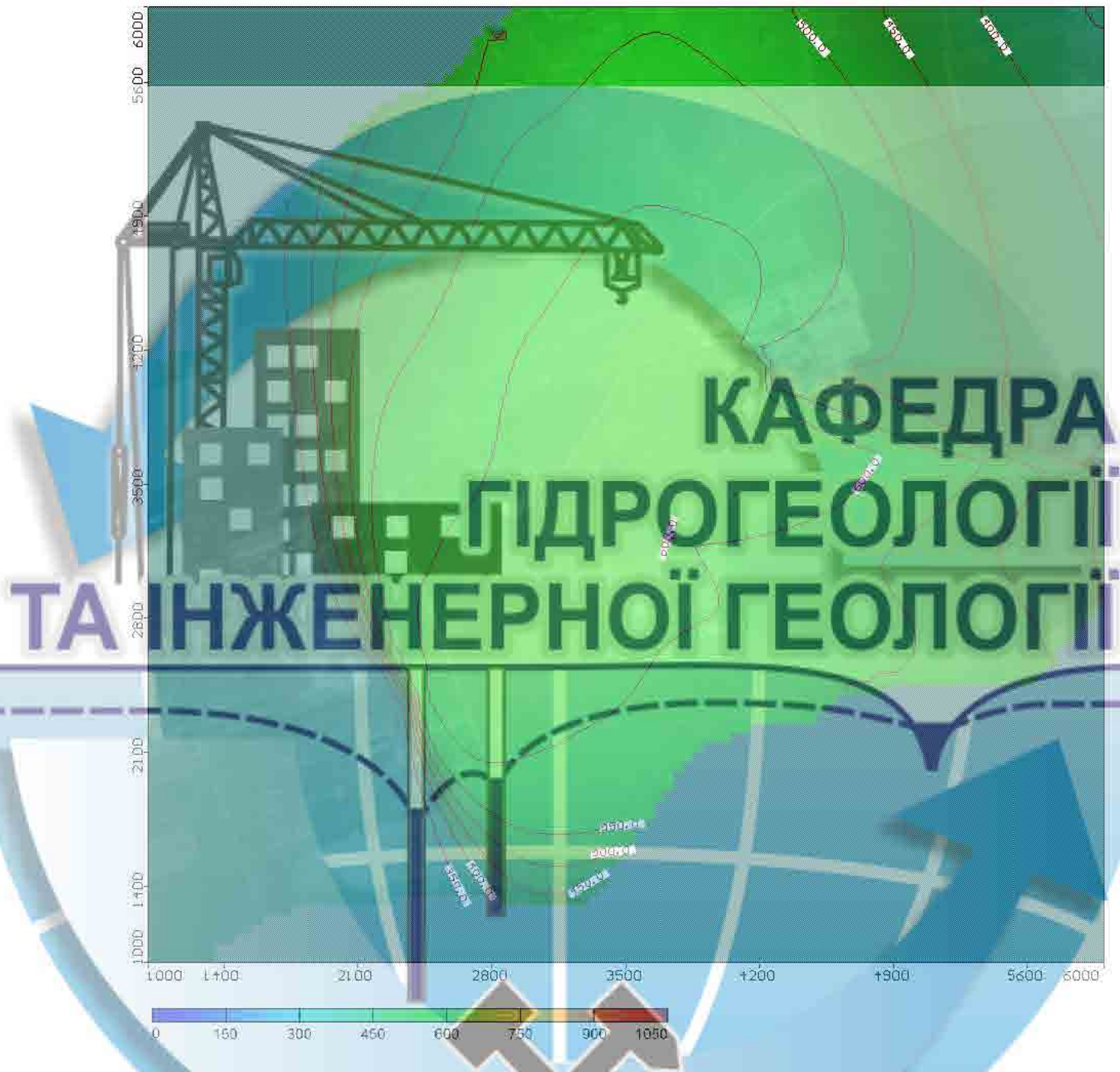


Рисунок 3.14 – Мінералізація підземних вод алювіальних гравійно-галечникових відкладень на кінець проектного терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 діб), мг/л



Рисунок 3.15 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах алювіальних гравійно-галечникових відкладень на кінець проектованого терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 діб), мг/л

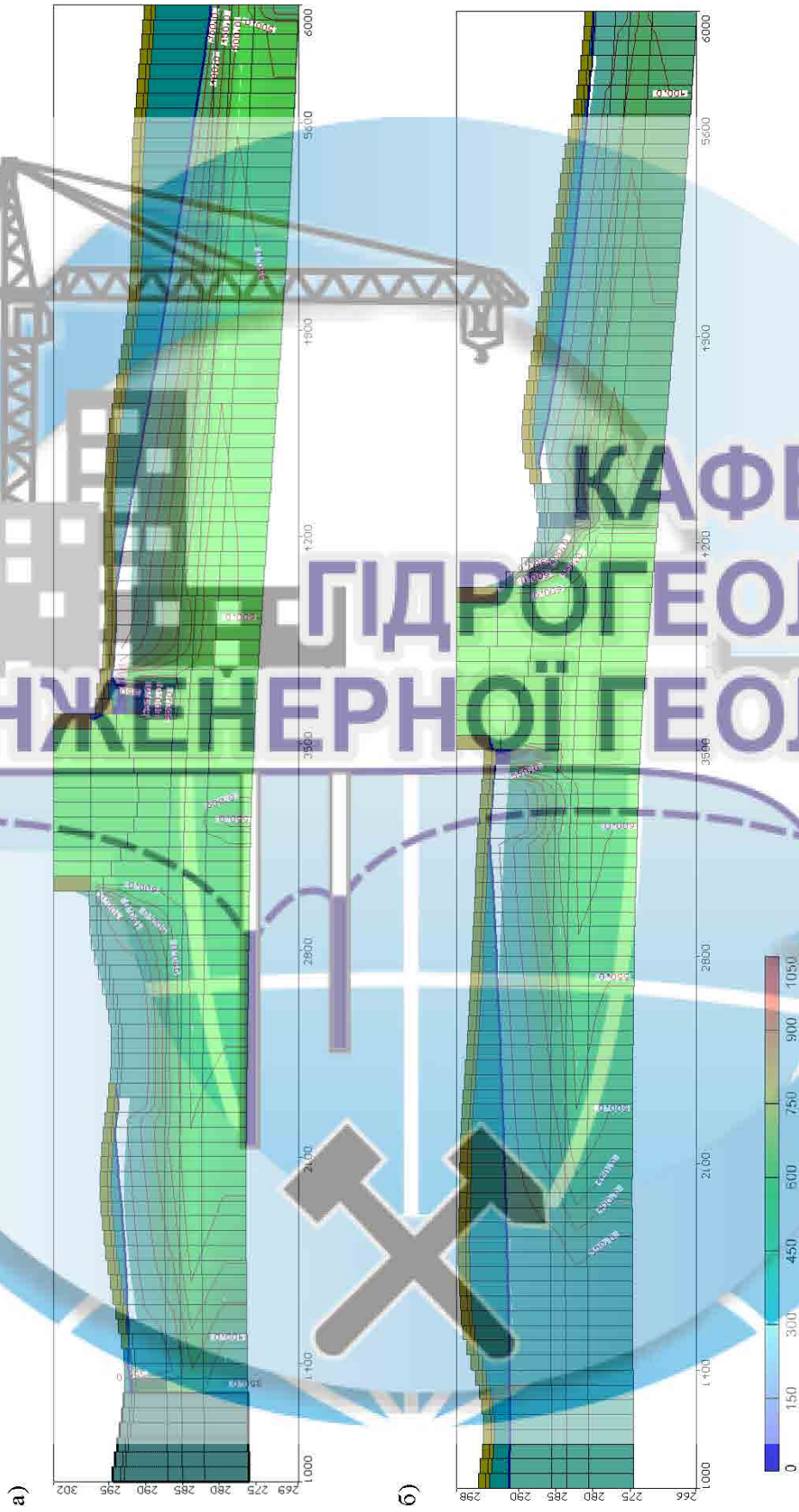


Рисунок 3.16 – Розподіл мінералізації підземних вод у вертикальному перерізі на кінець проєктованого терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 днів), меридіональний (а) та широтний (б) напрямки, мг/л

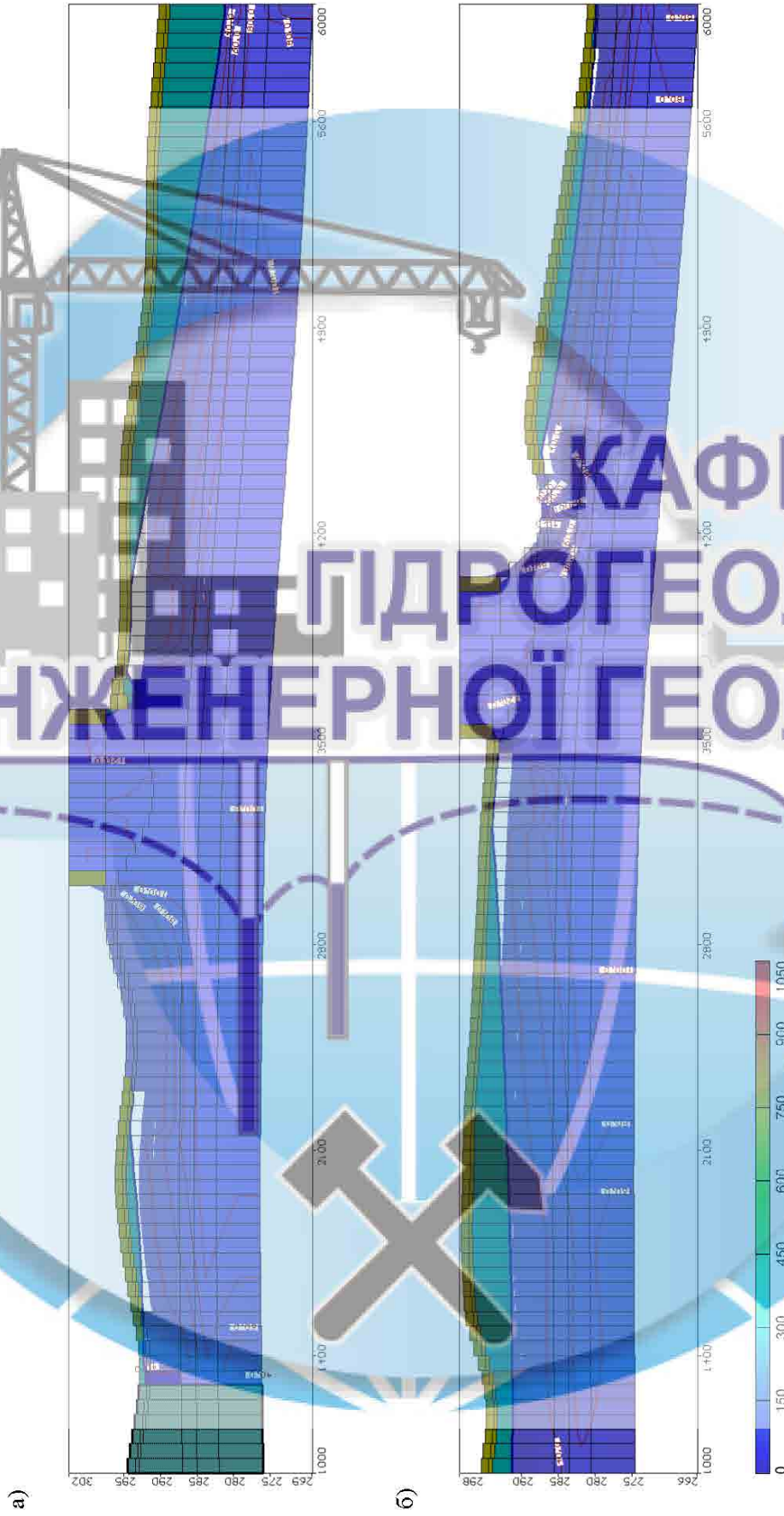


Рисунок 3.17 – Розподіл вмісту сульфат-іону в підземних водах у вертикальному перерізі на кінець проектного терміну експлуатації золошлаковідвалу (10 років або 4000 діб), меридіональний (а) та широтний (б) напрямки, мг/л

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ДІЛЯНКАХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ

### 4.1 Процедура розрахунку геофільтрації через тіло огорожувальних дамб

Моделювання геофільтраційних процесів на ділянці золошлаковідвалу виконано із використанням реалізованої в програмного комплексу PHASE2 чисельної моделі профільної двовимірної фільтрації підземних вод постійної щільності в пористому середовищі, яка у загальному випадку описується частковим диференціальним рівнянням вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (4.1)$$

де  $H$  – гідралічний напір;  $k_x$  і  $k_y$  – гідралічні провідності у напрямку координатних осей  $X$  і  $Y$ ;  $Q$  – прикладена до контуру витрата потоку;  $\theta$  – об'ємний вміст води;  $t$  – час.

Це рівняння показує, що різниця між витратою потоку, який надходить до елементарного об'єму і залишає його в кожен момент часу, дорівнює зміні ємності ґрунтової системи. Більш точно, воно показує, що сума швидкостей зміни витрати потоку в напрямку координат  $X$  і  $Y$  і прикладеного зовні потоку дорівнює швидкості зміни об'ємного вмісту води в часі.

В стаціонарних умовах витрата потоку, що надходить до елементарного об'єму і виходить з нього, залишається незмінною в часі. Отже, права частина рівняння обертається в нуль і рівняння (4.1) зводиться до вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = 0. \quad (4.2)$$

Зміни об'ємного вмісту води залежать від зміни напруженого стану і властивостей ґрунту. Напружений стан як для насичених, так і ненасичених умов може бути описаний двома змінними стану. Цими змінними напруже-

ного стану  $\epsilon (\sigma - u_a)$  і  $(u_a - u_w)$ , де  $\sigma$  – повне напруження,  $u_a$  і  $u_w$  – відповідно тиск порового повітря і порової води.

В програмному комплексі реалізована умова дії постійного повного напруження, тобто відсутність завантаження або розвантаження ґрунтової маси. Передбачається також, що тиск повітря в порах залишається постійним при атмосферному тиску під час нестационарних процесів. Це означає, що  $(\sigma - u_a)$  залишається величиною постійною і не впливає на зміну об'ємного вмісту води.

Зміна об'ємного вмісту води, як наслідок, залежить лише від змінної напруженого стану  $(u_a - u_w)$ , а при постійному  $u_a$  – зміна об'ємного вмісту води є функцією лише зміни тиску порової води. Як результат, зміна об'ємного вмісту води може бути пов'язана зі зміною тиску порової води наступним рівнянням:

$$\partial\theta = m_w \partial u_w, \quad (4.3)$$

де  $m_w$  – ухил кривої ємності.

Повний гідралічний напір  $H$  визначається як:

$$H = \frac{u_w}{\gamma_w} + y, \quad (4.4)$$

де  $u_w$  – тиск порової води;  $\gamma_w$  – питома вага води;  $y$  – геометрична висота.

Рівняння (4.4) можна представити у наступному вигляді:

$$u_w = \gamma_w (H - y). \quad (4.5)$$

Підставляючи рівняння (4.4) у формулу (4.3), можна отримати рівняння:

$$\partial\theta = m_w \gamma_w \partial(H - y), \quad (4.6)$$

яке можна підставити у рівняння (4.1), що приводить до наступного виразу:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial(H - y)}{\partial t}. \quad (4.7)$$

Оскільки геометрична висота є величиною постійною, похідна відносно  $y$  від часу зникає, залишаючи основне диференціальне рівняння, що використовується у кінцево-елементному формулюванні:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (4.8)$$

Застосовуючи метод зважених нев'язок Гальоркіна до основного диференціального рівняння (4.8) можна отримати кінцево-елементний вираз для опису двовимірної фільтрації у вигляді:

$$\tau \int_A ([B]^T [C] [B]) dA \{H\} + \tau \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA \{H\}, \quad t = q \tau \int_L \langle N \rangle^T dL \quad (4.9)$$

де  $[B]$  – матриця градієнтів;  $[C]$  – матриця гідравлічних провідностей елементів;  $\{H\}$  – вектор вузлових напорів;  $\langle N \rangle$  – вектор інтерполяційних функцій;  $q$  – одинична витрата через контур елемента;  $\tau$  – товщина елемента;  $t$  – час;  $\lambda$  – емпіричний параметр для нестационарної фільтрації, рівний  $m_w \gamma_w$ ;  $A$  – позначення для сумування по площі елемента;  $L$  – позначення для сумування по контуру елемента.

У скороченій формі рівняння фільтрації для кінцевих елементів має вигляд:

$$[K] \{H\} + [M] \{H\}, \quad t = \{Q\}, \quad (4.10)$$

де  $[K]$  – матриця властивостей елемента;  $[M]$  – матриця мас елемента;  $\{Q\}$  – вектор витрат потоку, прикладений до елемента.

Рівняння (4.10) представляє собою загальний вигляд рівняння кінцевих елементів для аналізу нестационарної фільтрації. Для стаціонарного аналізу, коли напір не є функцією часу, і, отже, параметр часу зникає, рівняння (4.10) спрощується до вигляду

$$[K] \{H\} = \{Q\}, \quad (4.11)$$

який є скороченою формою запису фундаментального рівняння Дарсі для кінцевих елементів.

Для оцінки матриці властивостей  $[K]$  і матриці мас елемента  $[M]$  використовується чисельне інтегрування Гаусса. Інтеграл оцінюється шляхом



дискретизації властивостей елементів у конкретно визначених точках, а потім підсумовуються для всього елемента.

Як приклад, використовуючи матрицю властивостей, наступний інтеграл:

$$[K] = \tau \int_A ([B]^T [C] [B]) dA, \quad (4.12)$$

можна замінити на:

$$[K] = \tau \sum_{j=1}^n [B_j]^T [C_j] [B_j] \det |J_j| W_{1j} W_{2j}, \quad (4.13)$$

де  $j$  – точка інтегрування;  $n$  – кількість точок інтегрування,  $[C_j]$  – матриця гідралічних провідностей елемента в точці інтегрування,  $[B_j]$  – матриця елементів у точці інтегрування,  $\det |J_j|$  – визначник матриці Якобі,  $W_{1j} W_{2j}$  – вагові коефіцієнти, що залежать від кількості вузлових точок елемента.

Загальна форма матриці гідралічних провідностей елемента має вигляд:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}, \quad (4.14)$$

$$\text{де } C_{11} = k_x \cos^2 \alpha + k_y \sin^2 \alpha;$$

$$C_{22} = k_x \sin^2 \alpha + k_y \cos^2 \alpha;$$

$$C_{12} = k_x \sin \alpha \cos \alpha + k_y \sin \alpha \cos \alpha;$$

$$C_{21} = C_{12}.$$

Параметри  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $\alpha$  відповідно коефіцієнти гідралічної провідності в напрямку осей  $X$  і  $Y$  і кут між ними.

Коли  $\alpha$  дорівнює нулю, матриця (4.14) зводиться до вигляду:

$$[C] = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}. \quad (4.15)$$

Параметр  $k_x$  завжди визначається як функція гідравлічної провідності, а параметр  $k_y$  – обчислюється за допомогою коефіцієнта  $k_{Ratio}$  з виразу:

$$k_y = k_x \times k_{Ratio}. \quad (4.16)$$

Матриця мас елемента, яка входить до виразу (4.10), у двовимірному аналізі визначається як:

$$[M] = \tau \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA. \quad (4.17)$$

Аналогічно матриці властивостей елемента масова матриця також оцінюється чисельним інтегруванням, так, як показано нижче:

$$[M] = \tau \sum_{j=1}^n \lambda_j \langle N \rangle^T \langle N \rangle \det |J_j| W_{1j} W_{2j}. \quad (4.18)$$

Вектор граничних вузлових витрат потоку для двовимірної аналізу визначається як:

$$\{Q\} = q \tau \int_L \langle N \rangle^T dL \quad (4.19)$$

а для планової задачі

$$\{Q\} = q \int_A \langle N \rangle^T \langle N \rangle dA, \quad (4.20)$$

де  $q$  – одинична витрата потоку крізь сторону елемента;  $\tau$  – товщина елемента;  $A$  – площа елемента у плані.

У якості границь можуть використовуватись граничні умови вузлових витрат ( $Q$ ) або граничні умови одиничних витрат ( $q$ ). Граничні умови вузлових витрат ( $Q$ ) можуть бути вказані безпосередньо на граничних вузлах, а граничні умови одиничних витрати ( $q$ ) мають задаватись вздовж граничних сторін елемента.

## 4.2 Розрахункова схематизація і методика розрахунку

Визначення положення кривих гідравлічних депресій в тілі огорожувальних споруд в існуючих умовах і в умовах їх проектного нарощування виконано для типових перерізів аварійної, шлакової і золоних секцій № 1 і

№ 2 золошлаковідвалу, розташування яких наведено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 – Схема розташування розрахункових профілів золошлаковідвалу

В умовах існуючого положення первинних дамб і дамб I-го ярусу нарощування розрахунки виконані у відповідності до абсолютних відміток заповнення секцій золошлаковідвалу – згідно з положенням підпірного рівня води для кожного із розрахункових профілів, встановленим за абсолютними

відмітками поверхні золошлакоматеріалів у чаші золошлаковідвалу (табл. 4.1).





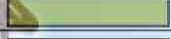



При проектуваному нарощуванні огорожувальних споруд абсолютні відмітки дамб II-го ярусу і відповідні їм відмітки заповнення секцій золошлаковідвалу прийняті рівними проектним: для аварійної, шлакової секцій і золової секції № 1 – 303,0 м і 302,5 м, для золової секції № 2 – 299,0 і 298,5 м (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Розрахункові відмітки поверхонь існуючих і проектованих огорожувальних споруд і золошлакоматеріалів в чаші золошлаковідвалу

Розрахункові профілі	Абсолютні відмітки поверхні, м				
	в існуючих умовах			при нарощуванні	
	первинні дамби	дамби I-го ярусу	чаша	дамби II-го ярусу	чаша
Профіль 1-1: Аварійна секція	298,0	299,5	296,0	303,0	302,5
Профіль 2-2: Шлакова секція	298,0	301,5	301,0	303,0	302,5
Профіль 3-3: Золова секція № 1	296,0	298,0	296,5	303,0	302,5
Профіль 4-4: Золова секція № 2	295,5	-	293,5	299,0	298,5
Профіль 5-5: Золова секція № 2	295,5	-	293,5	299,0	298,5
Профіль 6-6: Золова секція № 2	295,0	297,5	294,5	299,0	298,5
Профіль 7-7: Золова секція № 1	298,0	301,0	299,0	303,0	302,5
Профіль 8-8: Шлакова секція	300,0	302,0	301,9	303,0	302,5

Гідродинамічні розрахунки виконані для стаціонарного режиму фільтрації в тілі огорожувальних споруд і їх основі в умовах насичено-ненасиченого ґрунтового потоку. Значення гідравлічної проникності для розрахункових різностей ґрунтів основи золошлаковідвалу і золошлакоматеріалів в його чаші і огорожувальних дамбах прийняті за даними інженерно-геологічних вишукувань та гідрогеологічних досліджень [21,23] і наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахункові гідравлічні проникності ґрунтів основи, золи і золошлакового матеріалу

№№ з/п	Найменування	Позначення	Коефіцієнт фільтрації, $k_f$	
			м/доб	м/с
1	Зола (ПЕ-1а)		0,5	$5,787 \cdot 10^{-6}$
2	Шлак (ПЕ-1г)		5,0	$5,787 \cdot 10^{-5}$
3	Золошлак (ПЕ-1в)		0,4	$4,630 \cdot 10^{-6}$
4	Насипний ґрунт (ПЕ-1)		0,05	$5,787 \cdot 10^{-7}$
5	Суглинок (ПЕ-3)		0,02	$2,315 \cdot 10^{-7}$
6	Суглинок (ПЕ-3')		0,05	$5,787 \cdot 10^{-7}$
7	Гравійно-галечниковий ґрунт (ПЕ-4)		19,0	$2,200 \cdot 10^{-4}$
8	Глина (ПЕ-5)		0,005	$5,787 \cdot 10^{-8}$

При виконанні розрахункової схематизації до уваги прийняті геометричні розміри існуючих і проєктованих споруд, характер залягання розрахункових ґрунтових шарів, а також положення основних гідродинамічних елементів, що визначають деформації гідравлічного потоку в межах ділянок розрахункових профілів. Згідно з положенням основних розрахункових елементів розміри чисельних моделей встановлені рівними: за довжиною – 100 м, за потужністю – 22,0...25,0 м.

Розрахункові профілі ділянок золошлаковідвалу згідно з виконаною гідродинамічною схематизацією наведені на рис. 4.2...4.9.

Методикою моделювання передбачалось виконання розрахунків для існуючих умов, при фіксації положення контурів живлення і розвантаження ґрунтових вод у відповідності до положення поверхонь первинних дамб, дамб I-го ярусу нарощування і поверхні золошлакоматеріалів в секціях золошлаковідвалу, а також для умов проєктованого нарощування огорожувальних дамб і заповнення чаші в золошлаковій і золових секціях № 1 і № 2 до відміток, що відповідають кінцевому терміну експлуатації золошлаковідвалу – 10 років.

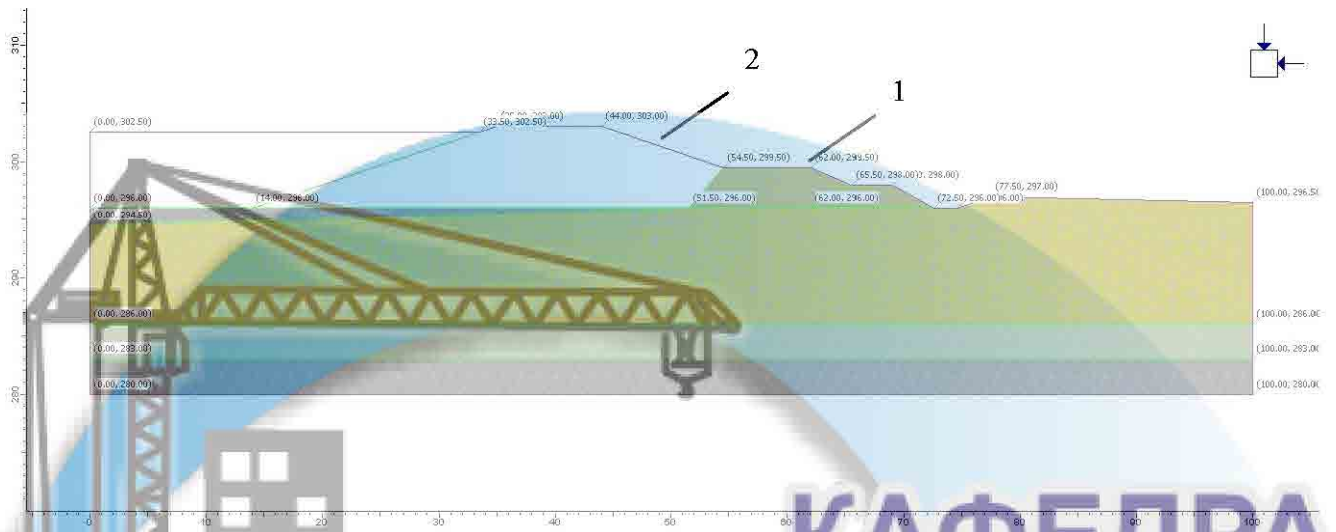


Рисунок 4.2 – Розрахунковий профіль 1-1 – ділянка західної дамби аварійної секції золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проектані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

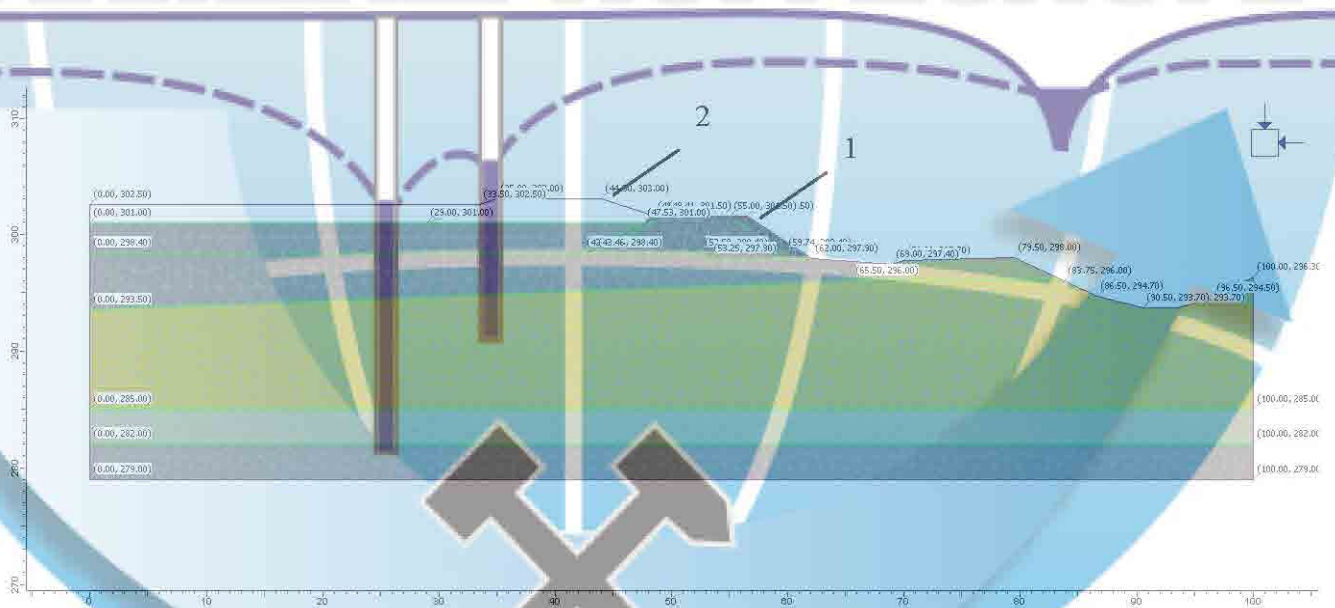


Рисунок 4.3 – Розрахунковий профіль 2-2 – ділянка північної дамби шлакової секції золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проектані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

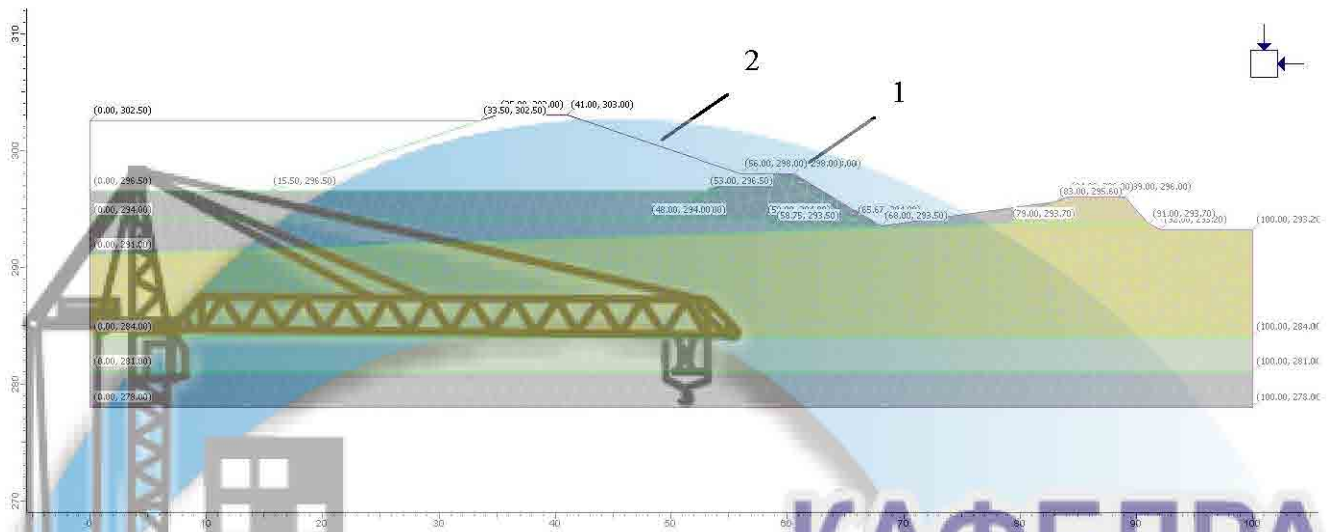


Рисунок 4.4 – Розрахунковий профіль 3-3 – ділянка північної дамби золової секції № 1 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проектовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

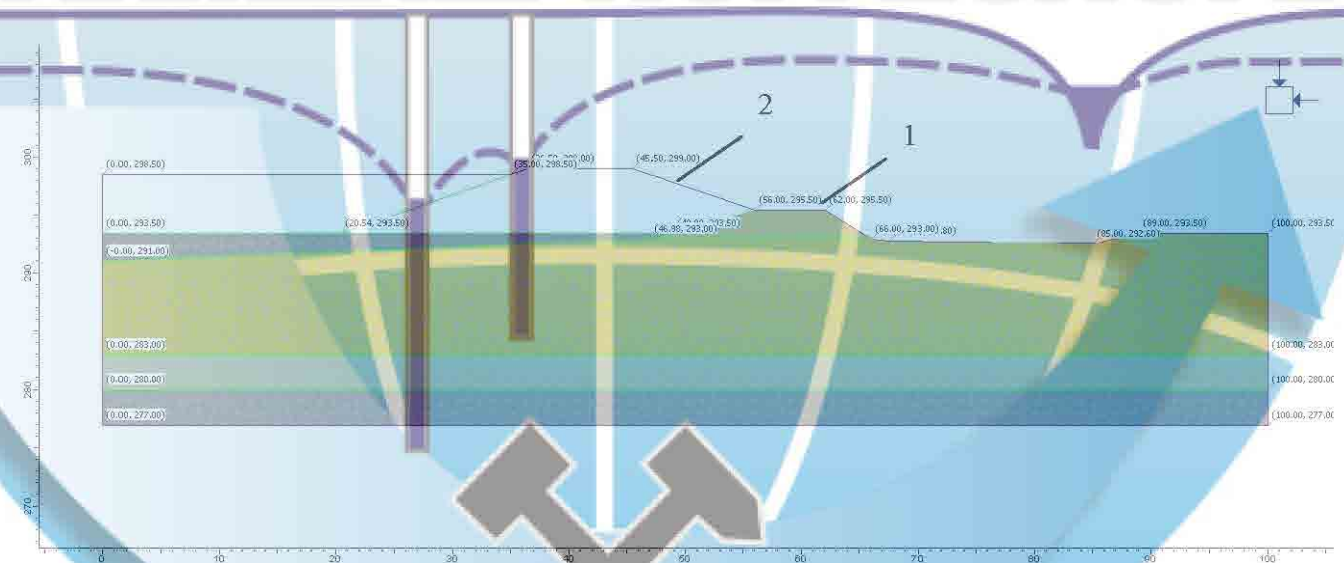


Рисунок 4.5 – Розрахунковий профіль 4-4 – ділянка північної дамби золової секції № 2 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проектовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

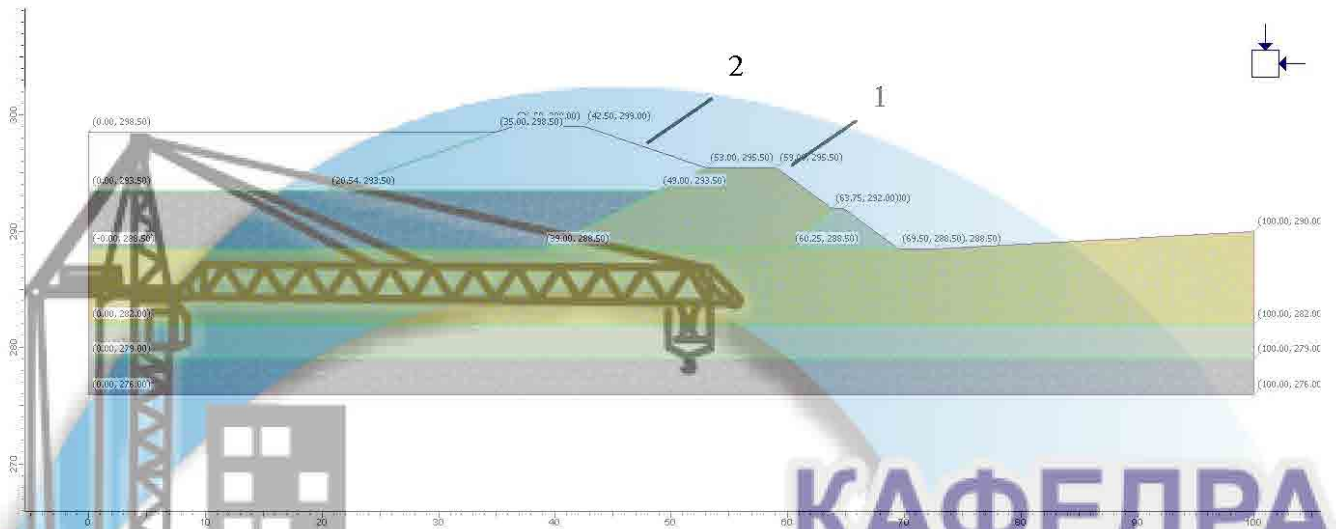


Рисунок 4.6 – Розрахунковий профіль 5-5 – ділянка східної (низової) дамби золової секції № 2 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проєктовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

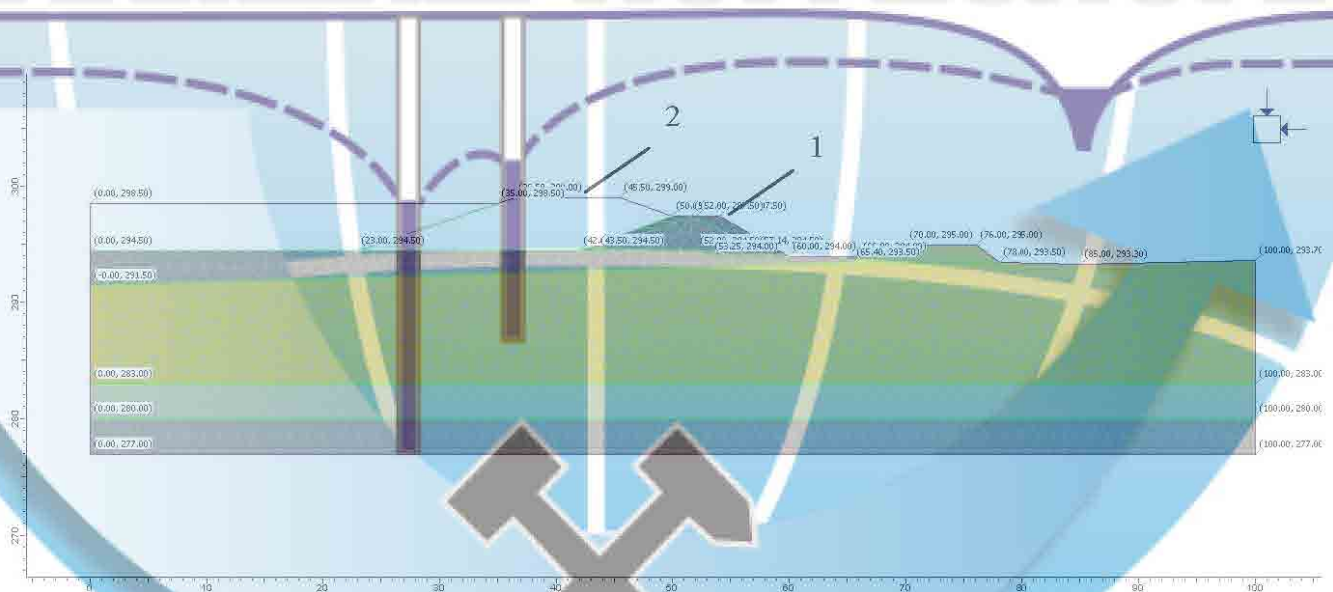


Рисунок 4.7 – Розрахунковий профіль 6-6 – ділянка південної дамби золової секції № 2 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проєктовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу



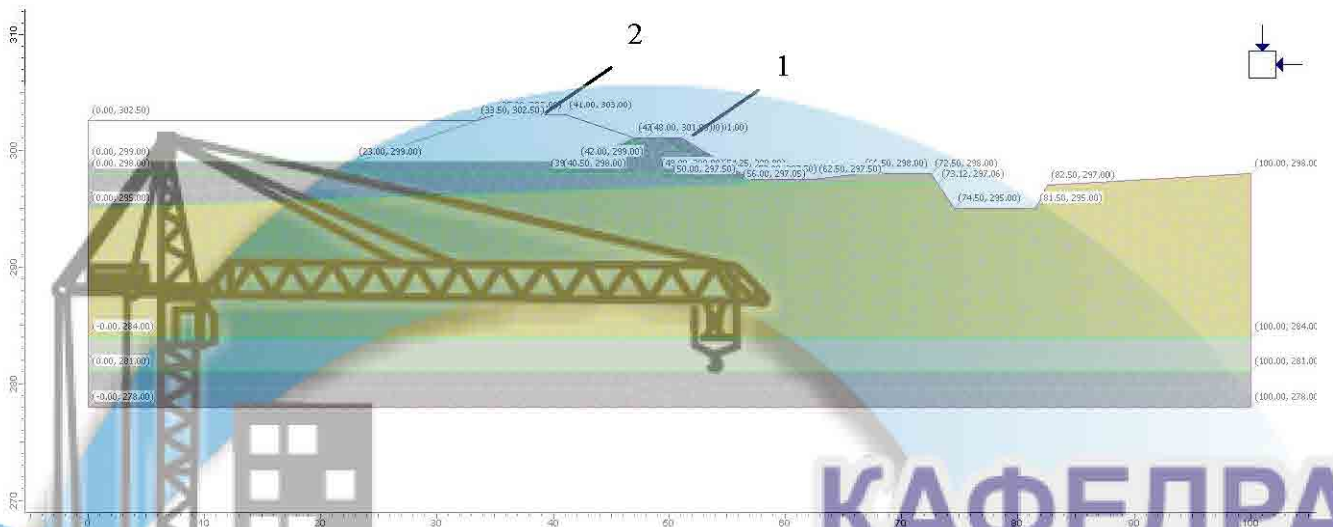


Рисунок 4.8 – Розрахунковий профіль 7-7 – ділянка південної дамби золової секції № 1 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проєктовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

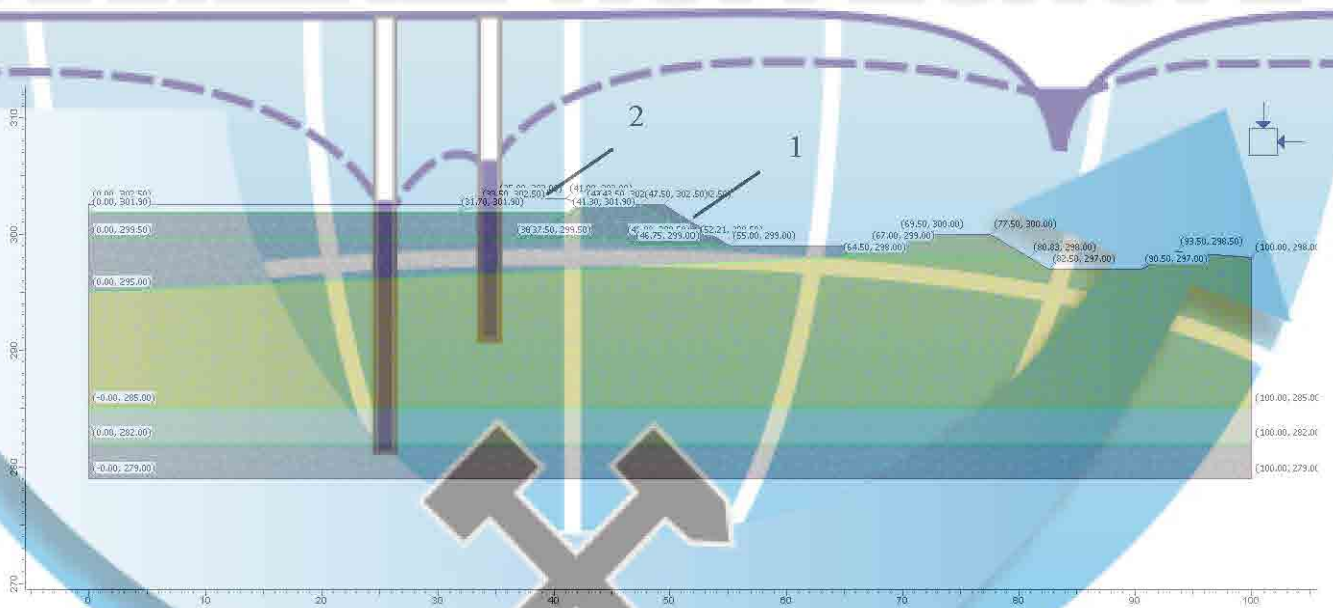


Рисунок 4.9 – Розрахунковий профіль 8-8 – ділянка південної дамби шлакової секції № 1 золошлаковідвалу: 1 – існуюче положення; 2 – проєктовані положення дамби нарощування і заповнення чаші золошлаковідвалу

### 4.3 Аналіз результатів моделювання процесів геофільтрації на ділянках огорожувальних споруд

Положення кривих депресії, розподіл гідравлічних напорів в огорожувальних дамбах і ґрунтовій основі, а також витрати на контурі розвантаження ґрунтових вод, встановлені за даними фільтраційних розрахунків, наведено в текстових додатках 1...8.

Для оцінки збіжності результатів моделювання гідродинамічного стану на ділянках огорожувальних споруд виконаний порівняльний аналіз фактичних і розрахункових положень рівнів ґрунтових вод в межах прийнятих до розрахунку профілів.

Положення рівнів ґрунтових вод в тілі існуючих дамб, зафіксоване за даними буріння розвідувальних свердловин, і відповідне їм положення розрахункових рівнів для ділянок модельованих профілів, наведено в табл. 4.3. Положення депресійних кривих в тілі огорожувальних дамб, встановлене за результатами чисельного моделювання для існуючих умов (станом на грудень 2018 р.) і в умовах проектного нарощування золошлаковідвалу, наведено в текстових додатках – рисунки Д 1...8.1,4.

Таблиці 4.3 – Фактичне і розрахункове положення рівнів ґрунтових вод в тілі огорожувальних дамб в існуючих умовах і в умовах їх проектного нарощування

Розрахункові профілі	Абсолютні відмітки рівня ґрунтових вод, м			
	в існуючих умовах		при нарощуванні	
	фактичне положення	розрахункове положення	розрахункове положення	приріст до існуючого
Профіль 1-1: Аварійна секція	296,00	295,60	298,20	+2,6
Профіль 2-2: Шлакова секція	299,01	299,00	298,60	-0,4
Профіль 3-3: Золова секція № 1	295,20	295,10	296,50	+1,4
Профіль 4-4: Золова секція № 2	292,79	292,80	294,50	+1,7
Профіль 5-5: Золова секція № 2	289,89	290,00	292,10	+2,1
Профіль 6-6: Золова секція № 2	293,11	294,10	296,00	+1,9
Профіль 7-7: Золова секція № 1	298,52	297,80	298,50	+0,7
Профіль 8-8: Шлакова секція	298,48	300,00	300,00	0,0

Досягнута збіжність розрахункових і фактичних даних (див. табл. 4.3) свідчить про адекватність розрахункового відображення чисельними моделями гідродинамічного стану ділянок огорожувальних споруд і підтверджує достовірність прийнятих до розрахунку фільтраційних характеристик.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що нарощування золошлаковідвалу до проектних відміток огорожувальних дамб 299,0 і 303,0 м і відміток заповнення секцій золошлаковідвалу 288,5 і 302,5 м приводить до підйому рівня ґрунтових в існуючих первинних дамбах і дамбах I-го ярусу нарощування до 0,7...2,6 м, і, як наслідок, підтоплення низових ділянок огорожувальних споруд.

Слід відзначити, що максимальний приріст в рівнях ґрунтових вод, за виключенням аварійної секції, характерний для ділянок огорожувальних споруд I-го ярусу нарощування, верхові укоси яких викладені зі шлаку, що не чинить відповідного опору для фільтрації води крізь тіло дамб.

Отримані за даними моделювання питомі витрати на низових контурах огорожувальних споруд наведені в табл. 4.4 і на рисунках Д.1...8.3 і Д.1...8.6 – відповідно для існуючих умов і умов проектного нарощування II-го ярусу золошлаковідвалу.

Таблиця 4.4 – Питомі фільтраційні витрати в межах низових ділянок огорожувальних споруд золошлаковідвалу

Розрахункові профілі	Питомі витрати, $q_r$ , л/с на 1 п.м дамби	
	в існуючих умовах	при нарощуванні
Профіль 1-1: Аварійна секція, західна дамба	0,000	0,00037
Профіль 2-2: Шлакова секція, північна дамба	0,00349	0,00126
Профіль 3-3: Золова секція № 1, північна дамба	0,00335	0,00995
Профіль 4-4: Золова секція № 2, північна дамба	0,000	0,00066
Профіль 5-5: Золова секція № 2, східна дамба	0,00154	0,00322
Профіль 6-6: Золова секція № 2, південна дамба	0,00022	0,00344
Профіль 7-7: Золова секція № 1, південна дамба	0,00090	0,00332
Профіль 8-8: Шлакова секція, південна дамба	0,00441	0,00269

Згідно з наведеними даними максимальні величини водопритоків до низових контурів огорожувальних споруд в існуючих умовах характерні для північних ділянок шлакової і золової секції № 1 (профілі 2-2, 3-3) і південної ділянки шлакової секції (профіль 8-8), що пов'язано як з рівнем заповнення секцій, так і наявністю понижень рельєфу на ділянках низових укосів дамб.

В умовах реконструкції золошлаковідвалу і нарощування огорожувальних споруд до проектних відміток 299,0 і 303,0 м (заповнення секцій до відміток 298,5 і 302,5 м) суттєвий приріст питомих витрат відбувається на ділянках північної дамби золової секції № 1 (профіль 3-3), східної дамби секції № 2 (профіль 5-5) і південних дамб золових секцій № 1 і № 2 (профілі 6-6 і 7-7), величина яких досягає  $q_r = 0,00322 \dots 0,00995$  л/с на 1 п.м.

При цьому в шламовій секції на ділянках профілів 2-2 і 8-8 спостерігається зниження питомих витрат, що пов'язано з віддаленням контуру з підпертим рівнем (контур живлення) від контуру низового укосу (контур дренажування) огорожувальних споруд при відносно незначному перевищенні (до 1,5 м) проєктованими відмітками заповнення шлакової секції золошлаковідвалу (302,5 м) відміток поверхні шлакоматеріалів в цій же секції в існуючих умовах (301,0 і 301,9 м).

## 5 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОШЛАКОВІДВАЛУ

Для забезпечення гідрогемеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах нарощування II-го ярусу золошлаковідвалу і часткового зменшення фільтраційних втрат з його часті доцільно застосування комплексу заходів, до складу яких входять зведення протифільтраційного екрану на верхових укосах дамб і закладення горизонтального (трубчатого) дренажу в основі дамб проектного нарощування.

Зважаючи на результати прогнозних розрахунків формування протифільтраційного екрану слід передбачити на верхових укосах північних дамб золових секцій № 1 і № 2, а також східної (низової) дамби секції № 2, де очікується максимальний підйом рівня ґрунтових вод в тілі огорожувальних споруд. Доцільність застосування протифільтраційного екрану на північному контурі золошлаковідвалу пов'язана також із існуючим положенням на цьому контурі перенесеного русла річки Сапогів і необхідністю мінімізації потрапляння фільтраційних вод із часті золошлаковідвалу до поверхневих вод.

Виконані оціночні розрахунки показали, що при закладенні протифільтраційного екрану на верховому укосі дамб II-го ярусу нарощування зі сторони обвідного каналу р. Сапогів, виконаного із геомембрани з коефіцієнтом фільтрації не вище  $1,0 \cdot 10^{-11}$  см/с, забезпечується зниження рівнів ґрунтових вод в межах первинних дамб і дамб I-го ярусу нарощування до відміток їх підосви (рис. 5.1), а величини питомих фільтраційних витрат на низовому контурі огорожувальних споруд не перевищують  $q_r = 0,000161$  л/с (профіль 3-3) (рис. 5.2).

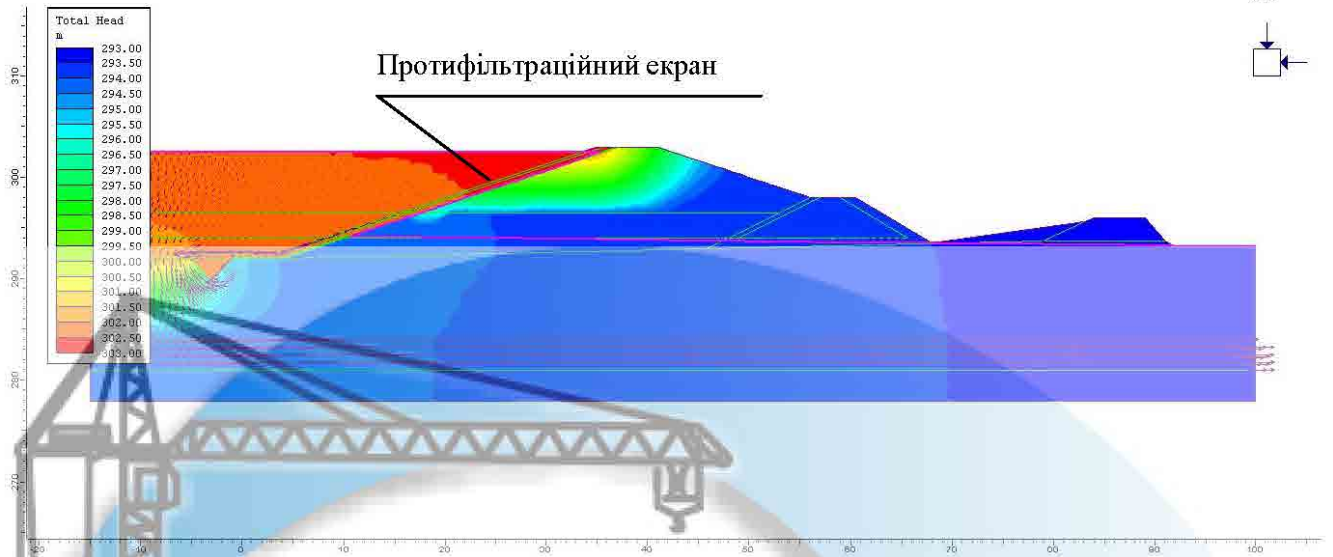


Рисунок 5.1 – Розрахункове положення рівня ґрунтових вод і гідравлічні напори в тілі огорожувальних споруд при закладенні протифільтраційного екрану на верховому укосі дамби нарощування – профіль 3-3

На південному контурі золошлаковідвалу, де розташований канал освітлених вод, доцільно закладення в основі проєктованих дамб нарощування горизонтального трубчатого дренажу зі скидом дренажних вод до каналу і наступним поверненням їх в систему оборотного водопостачання. Для ефектної роботи горизонтального дренажу його положення повинно визначатись контуром сполучення проєктованих дамб з верховим укосом дамб I-го ярусу нарощування, а на ділянках їх відсутності – первинних огорожувальних дамб.

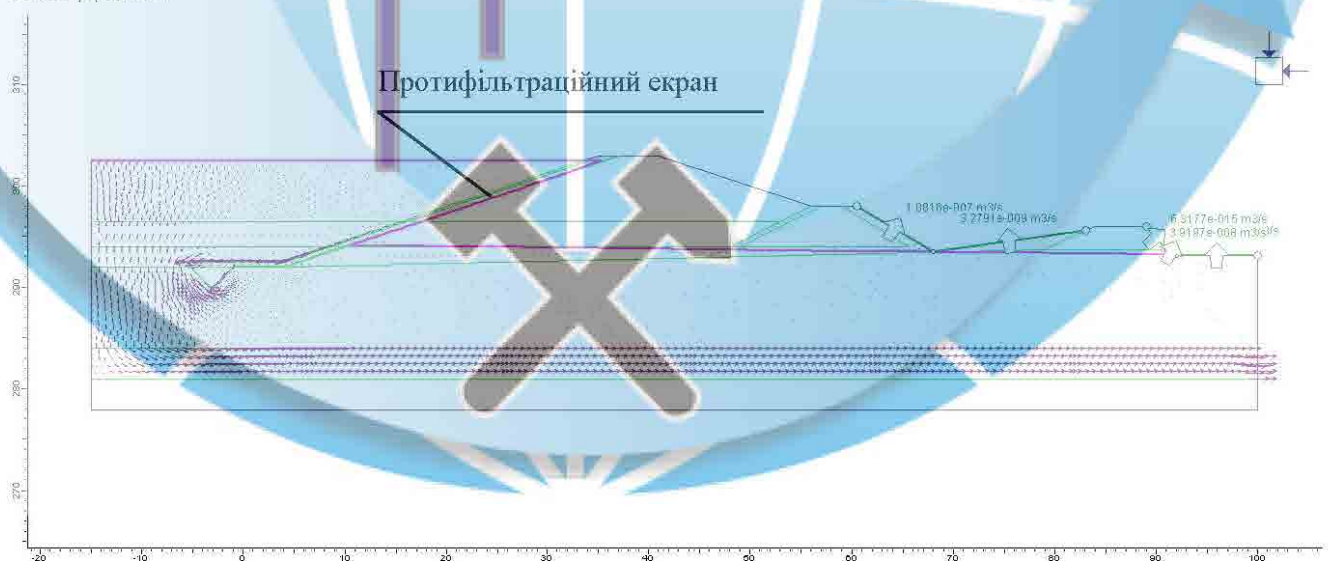


Рисунок 5.2 – Витрати на контурі розвантаження при закладенні протифільтраційного екрану на верховому укосі дамби нарощування – профіль 3-3

Наведене на рис. 5.3 положення депресійної кривої при роботі горизонтального трубчатого дренажу діаметром  $D_m = 200$  мм, закладеного на відмітці сполучення підосви проектованої дамби з дамбою I-го ярусу нарощування (ділянка південного контуру золової секції № 2, профіль 6-6), свідчить про його ефективність – при величині дренажного водовідбору на рівні  $q_d = 0,001$  л/с на 1 п.м дрени витрата на контурі розвантаження знижується від  $q_r = 0,00344$  л/с (див. табл. 4.4) до  $q_r = 0,00105$  л/с на 1 п.м (рис. 5.4).

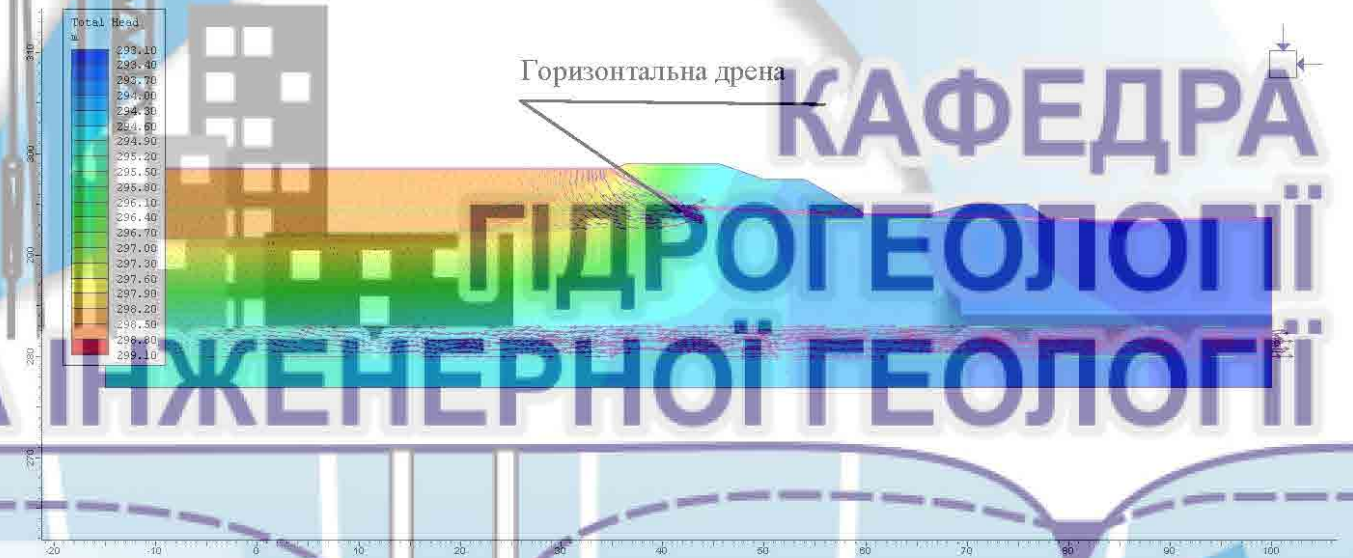


Рисунок 5.3 – Розрахункове положення рівня ґрунтових вод і гідравлічні напори в тілі огорожувальних споруд при роботі горизонтального трубчатого дренажу в основі проектованої дамби – профіль 6-6

Забезпечення зниженого положення рівнів ґрунтових вод в тілі огорожувальних споруд, як при закладенні протифільтраційного екрану на верхніх укосах проектованих дамб, так і при спорудженні горизонтального дренажу в їх підосві, при загальному зниженні фільтраційних втрат крізь тіло огорожувальних споруд буде сприяти підвищенню їх гідрогеомеханічної стійкості в умовах проектованої реконструкції золошлаковідвалу.

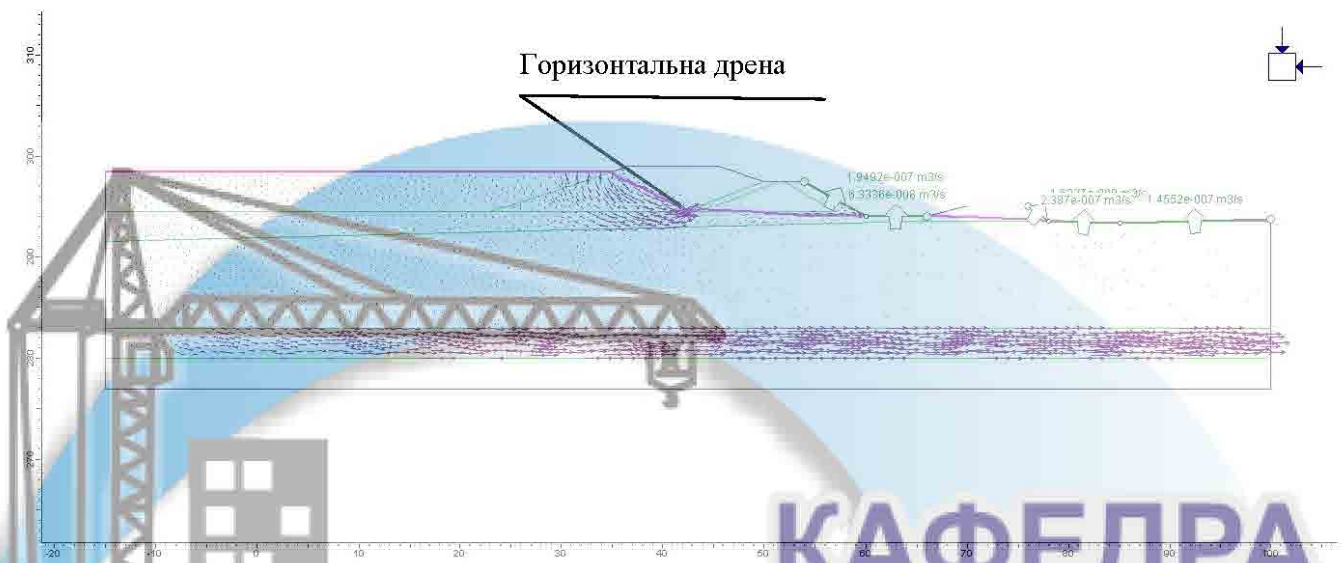


Рисунок 5.4 – Витрати на контурі розвантаження при роботі горизонтального трубчатого дренажу в основі проектованої дамби – профіль 6-6

Крім того, реалізація протифільтраційних і дренажних заходів в цілому буде сприяти зменшенню фільтраційних втрат з чапії золошлаковідвалу, і, відповідно, зменшенню об'ємів надходження техногенних вод з підвищеною мінералізацією з чапії золошлаковідвалу до водоносних горизонтів, розвинених в межах території розташування золошлаковідвалу.



## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Аналіз геолого-гідрологічних та інженерно-геологічних умов досліджуваної території, результатів моделювання гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів підземних вод, а також результатів гідродинамічних розрахунків на ділянках огорожувальних споруд золошлаковідвалу ДП Калуська ТЕЦ, дозволив зробити наступні висновки.

1. Геологічна будова, гідрологічні та інженерно-геологічні умови досліджуваної території визначаються повсюдним поширенням четвертинних елювіально-делювіальних відкладень, що залягають в основі обводненої товщі сучасних техногенних утворень, представлених складованими до золошлаковідвалу золою і золошлаковими матеріалами.

2. Гідрологічні умови ділянки золошлаковідвалу характеризуються розвитком четвертинного водоносного горизонту, приуроченого до товщі елювіально-делювіальних суглинків та гравійно-галечникових відкладень в їх підшві, гідравлічно зв'язаних зі складованими до золошлаковідвалу обводненими золошлакоматеріалами, що визначає роль останніх у формуванні гідродинамічного та гідрогеохімічного вигляду ділянки золошлаковідвалу.

3. Прогнозна оцінка гідродинамічного режиму в умовах проектуваного нарощування другого ярусу золошлаковідвалу до відміток 303,0 і 299,0 м із заповненням його чаші до відміток 302,5 і 289,5 м відповідно для золошлакової, золової № 1 та золової № 2 секцій свідчить про очікуваний підйом рівня води безпосередньо навколо золошлаковідвалу з можливим підтопленням прилеглої території.

4. При досягненні проектних відміток поверхні золошлаковідвалу ( $t=4000$  діб) рівень води в межах огорожувальних споруд ярусів нарощування секцій золової № 2 і шлакової та золової № 1 досягає відміток відповідно 296,9...298,5 та 300,8...301,9 м, а на прилеглої до золошлаковідвалу території знаходиться на абсолютних відмітках 291,6...298,5 м, що відповідає підвищенню рівнів води відносно їх існуючого положення на величину до

1,0...1,4 м в межах смуги шириною до 500 м, до 1,5...2,5 м в межах смуги до 100 м від золошлаковідвалу, та до 5,0 м – безпосередньо в контурах огорожувальних споруд.

5. При середній мінералізації води, що надходить із золошлаковідвалу, рівній встановленій за результатами інженерно-геологічних вишукувань 618,0 мг/л, у елювіально-делювіальних відкладеннях формування ореолу з підвищеною мінералізацією ґрунтових вод відбувається безпосередньо навколо золошлаковідвалу в межах смуги шириною до 150 м на його бокових контурах, та до 200 м – уздовж русла р. Сапогів.

Для підземних вод алювіального водоносного горизонту, приуроченого до гравелисто-галечникових відкладень, значення мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$ , встановлені за даними розрахунків в умовах існуючого розсіювання розчинених речовин, становлять відповідно 323,0...617,0 і 40,0...110,0 мг/л при зафіксованих на період проведення інженерно-геологічних вишукувань фактичних значеннях мінералізації і вмісту сульфат-іону – відповідно 508,0 і 65,8 мг/л.

6. За умови проектного нарощування золошлаковідвалу очікувані зміни в розподілі величин мінералізації і вмісту сульфат-іону  $SO_4^{2-}$  в межах досліджуваної території можуть бути охарактеризовані як несуттєві, оскільки при збереженні існуючого загального вигляду в розподілі розчинених речовин мінералізація і вміст сульфат-іону в абсолютному вираженні характеризуються величинами, що не перевищують значень 615,0 і 118,0 мг/л.

Згідно з виконаними прогнозними оцінками на кінцевий період експлуатації золошлаковідвалу мінералізація підземних вод вздовж річки Сапогів на відстані 1,0 км від золошлаковідвалу характеризується величиною 350 мг/л, а вміст сульфат-іону – 75...100 мг/л, що фактично відповідає існуючому стану в розподілі оцінюваних компонентів.

7. Характер фільтрації і положення кривої депресії в тілі огорожувальних визначаються гідравлічною проникністю насипних ґрунтів і золошлакового матеріалу в тілі первинних дамб і дамб I-го ярусу нарощування, наяв-

ністю в основі дамб I-го ярусу шлакового тюфяку і укладеного на поверхні їх верхового укосу шару шлаку, а в умовах проектного нарощування дамб II-го ярусу – відносним положенням відміток заповнення шлакової і золочивих секцій золошлаковідвалу.

8. В умовах проектного нарощування II-го ярусу золошлаковідвалу до відміток огорожувальних дамб 299,0 і 303,0 м і відміток заповнення секцій золошлаковідвалу 288,5 і 302,5 м прогнозований підйом рівня ґрунтових вод в існуючих первинних дамбах і дамбах I-го ярусу нарощування досягає 0,7...2,6 м; наслідком чого може бути підтоплення і затоплення низових ділянок огорожувальних споруд.

Згідно з результатами розрахунків, максимальний підйом рівнів ґрунтових вод, за виключенням аварійної секції, характерний для ділянок огорожувальних споруд I-го ярусу нарощування, верхові укоси яких викладені зі шлаку, що не чинить відповідного опору для фільтрації води крізь тіло дамб.

9. В умовах реконструкції золошлаковідвалу і нарощування огорожувальних дамб до проектних відміток 299,0 і 303,0 м (заповнення секцій до відміток 298,5 і 302,5 м) суттєвий приріст питомих витрат відбувається на ділянках північної дамби золової секції № 1 (профіль 3-3), східної дамби секції № 2 (профіль 5-5) і південних дамб золочивих секцій № 1 і № 2 (профілі 6-6 і 7-7), величина яких досягає  $q_d = 0,00322...0,00995$  л/с на 1 п.м.

При цьому в шламовій секції на ділянках профілів 2-2 і 8-8 спостерігається зниження питомих витрат, що пов'язано з віддаленням контуру з підпертим рівнем (контур живлення) від контуру низового укосу (контур дренажу) огорожувальних споруд при відносно незначному перевищенні (до 1,5 м) проектованими відмітками заповнення шлакової секції золошлаковідвалу (302,5 м) відміток поверхні шлакоматеріалів в цій же секції в існуючих умовах (301,0 і 301,9 м).

10. Для забезпечення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах нарощування II-го ярусу золошлаковідвалу і часткового зменшення фільтраційних витрат з його чаші доцільно застосування комплек-

су заходів, до складу яких входять зведення протифільтраційного екрану на верхових укосах дамб і закладення горизонтального трубчатого дренажу в основі дамб проектного нарощування.

11. Зважаючи на результати виконаних прогнозних розрахунків закладення протифільтраційного екрану слід передбачити на верхових укосах північних дамб золочих секцій № 1 і № 2, а також східної (низової) дамби секції № 2, де очікується максимальний підйом рівня ґрунтових вод в тілі огорожувальних споруд.

12. За результатами оціночних розрахунків встановлено, що при закладенні протифільтраційного екрану на верховому укосі дамб II-го ярусу нарощування зі сторони обвідного каналу р. Сапогів, виконаного з геомембрани з коефіцієнтом фільтрації не вище  $1,0 \cdot 10^{-11}$  см/с, забезпечується зниження рівнів ґрунтових в межах первинних дамб і дамб I-го ярусу до відміток їх підшови, при цьому величини питомих фільтраційних витрат на низовому контурі огорожувальних споруд не перевищують  $q_r = 0,000161$  л/с.

13. Закладення горизонтального трубчатого дренажу в основі проектованих дамб II-го ярусу нарощування доцільно на південному контурі золошлаковідвалу, де розташований канал освітлених вод. Для ефективної роботи горизонтального дренажу його положення повинно визначатись контуром сполучення проектованих дамб з верховим укосом дамб I-го ярусу нарощування, а на ділянках їх відсутності – верховим укосом первинних огорожувальних дамб.

14. За результатами виконаних розрахунків встановлено, що робота горизонтального трубчатого дренажу діаметром  $D_m = 200$  мм, закладеного на відмітці сполучення підшови проектованої дамби нарощування з дамбою I-го ярусу (ділянка південного контуру золової секції № 2, профіль 6-6), забезпечує при величині дренажного водовідбору на рівні  $q_d = 0,001$  л/с на 1 п.м дрени зниження рівня ґрунтових вод в тілі дамби I-го ярусу до його існуючого положення при одночасному зниженні фільтраційних витрат на контурі розвантаження.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Опублікованої

1. Гриневский С.О., Новоселова М.В. Закономерности формирования инфильтрационного питания подземных вод / Водные ресурсы. – 2010. – Т.37. – № 6 – С. 1-12.
2. Лившиц В.М., Белокопытова Н.А. и др. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтраций подземных вод в слоистых толщах. – Днепропетровск: ДО ИМП, 1987.
3. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
4. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.
5. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра, 1988. – 261 с. : ил.
6. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / Комплекс. н-и и конструкт.-технолог. – т водоснабжения, канализации, гидротехн. сооружений и инж. гидрогеологии. – М. : Стройиздат, 1991. – 272 с. : ил. – (Справ. пособие к СНиП).
7. Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций / П 20-74, ВНИИГ. – Л.: Энергия, 1974. – 140 с.
8. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
9. Duncan, J.M. (2000). Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. J. Geotechnical & Geoenvironmental Engineering, April, pp. 307-316.
10. Kinzelbach W. Groundwater modeling. – Amsterdam: Elsevier. – 1986. – 312 p.
11. McDonald M.G. and Harbaugh A.W., 1984. A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model: U.S. Geological Survey

Open-File Report 83-875, 528 p.

12. Pande, G.N., Beer, G., & Williams, J.R., (1990), "Numerical Methods in Rock Mechanics", John Wiley and Sons, Ltd.

13. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.

14. ДБН В.1.2 -14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ.. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 49 с.

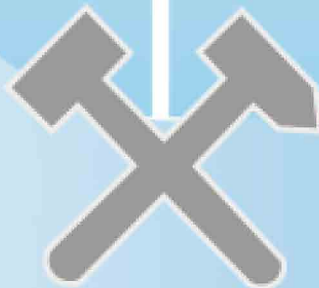
15. ДБН-В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 107 с.

16. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 41 с.

17. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2014. – 118 с.

18. ДБН В.1.1-25-2009. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 34 с.

КАФЕДРА  
ГІДРОТЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



### Фондової

19. Обстеження і паспортизація гідротехнічних споруд системи ГЗВ Калуської ТЕЦ / ДПР НДІ "ТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ". – 2017.

20. Звіт "Реконструкція золошлаковідвалу Калуської ТЕЦ. Комплексні інженерно-геологічні та інженерно-геодезичні вишукування на території золошлаковідвалу ДП "Калуська ТЕЦ-НОВА". Топографо-геодезична зйомка м 1:1000, м 1:500". Шифр 0-814/248.01-17-ІГД / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙ-МАКС". – Дніпро: 2017.

21. Звіт "Реконструкція золошлаковідвалу Калуської ТЕЦ. Комплексні інженерно-геологічні та інженерно-геодезичні вишукування на території золошлаковідвалу ДП "Калуська ТЕЦ-НОВА". Інженерно-геологічні та гідро-геологічні вишукування". Шифр 0814-17-ІГВ / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС". – Дніпро: 2018.

22. Звіт "Реконструкція золошлаковідвалу Калуської ТЕЦ. Проект". Сейсмічне мікрорайонування". Шифр 0814-17-СМР / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС". – Дніпро: 2018.

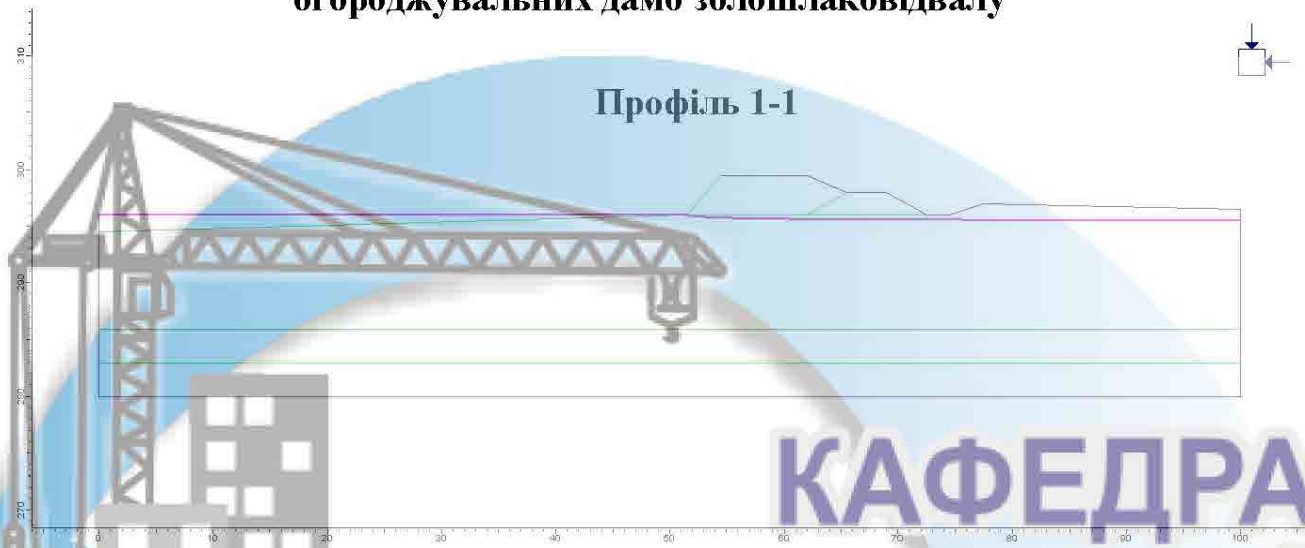
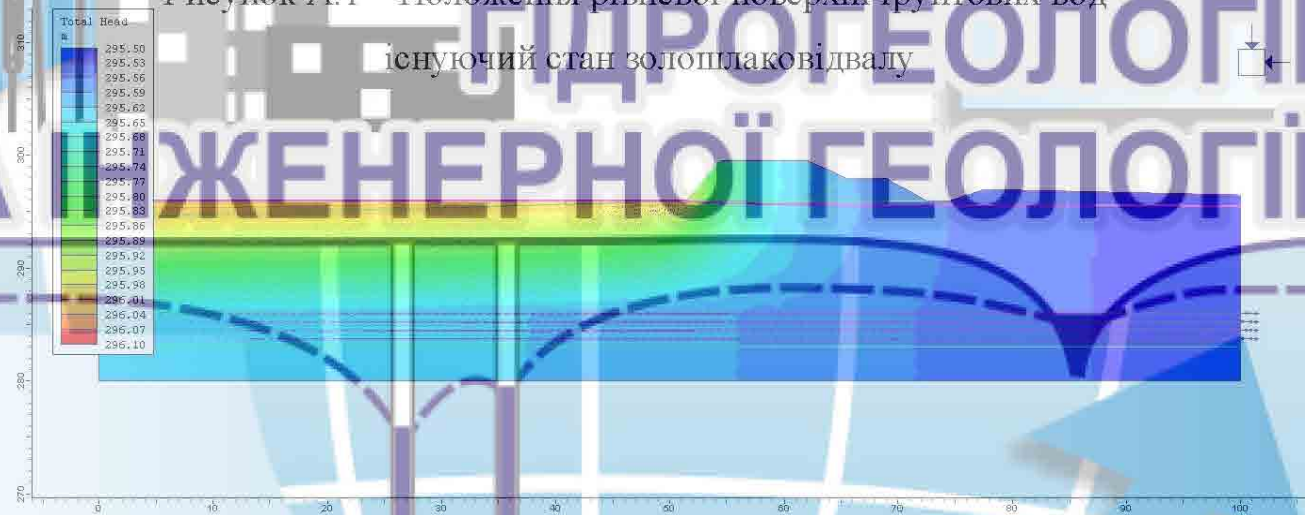


# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ



## ДОДАТОК А

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалуРисунок А.1 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
існуючий стан золошлаковідвалуРисунок А.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалуРисунок А.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ А

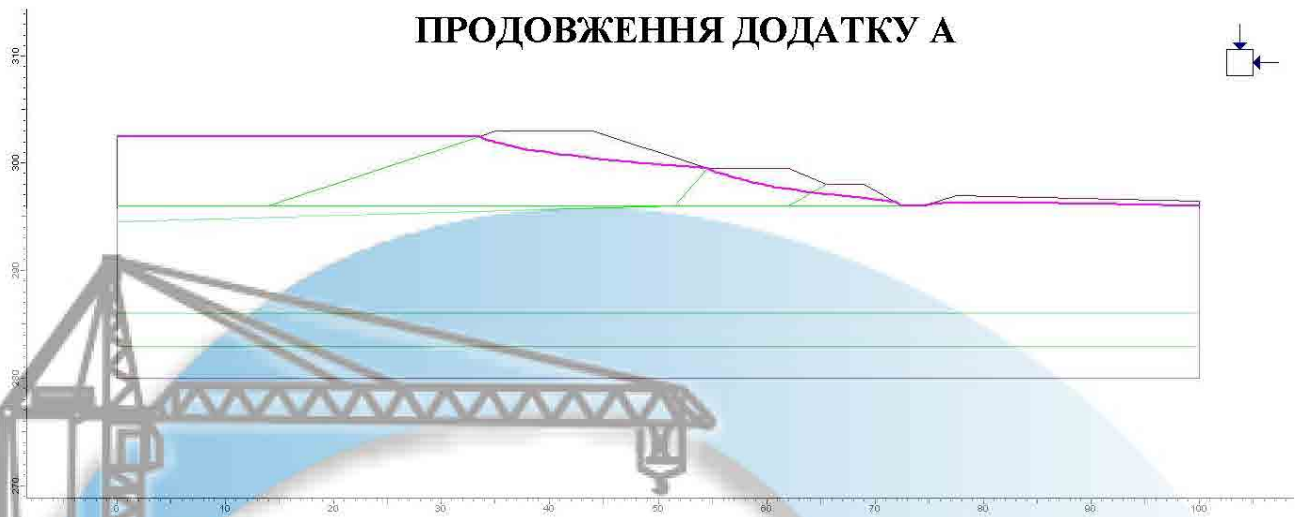


Рисунок А.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

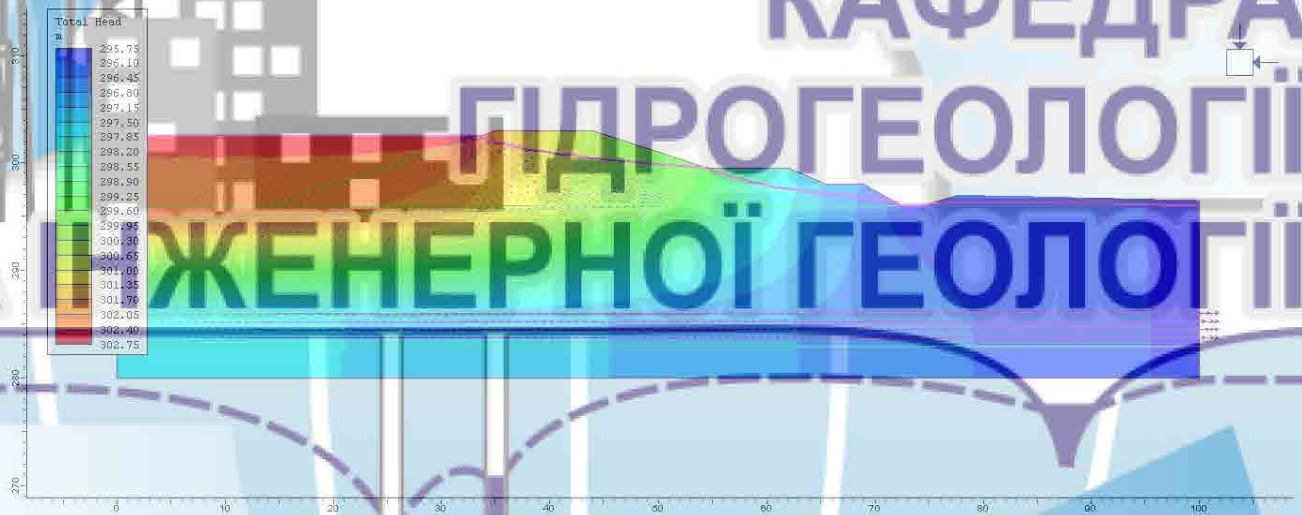


Рисунок А.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

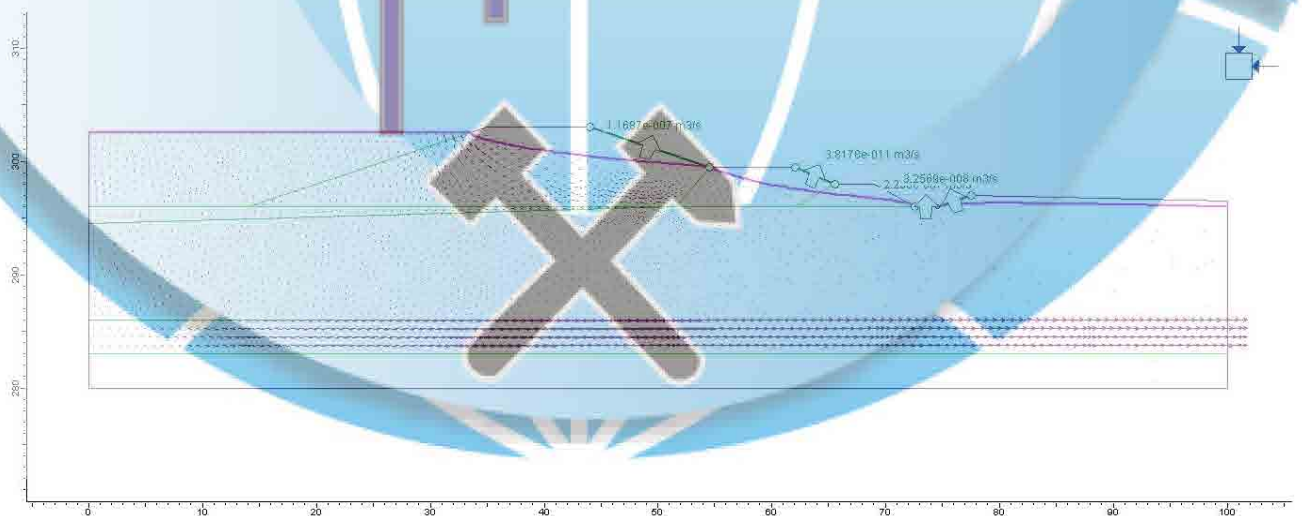


Рисунок А.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

**ДОДАТОК Б**  
**Результати розрахунку фільтрації крізь тіло**  
**огороджувальних дамб золошлаковідвалу**

**Профіль 2-2**

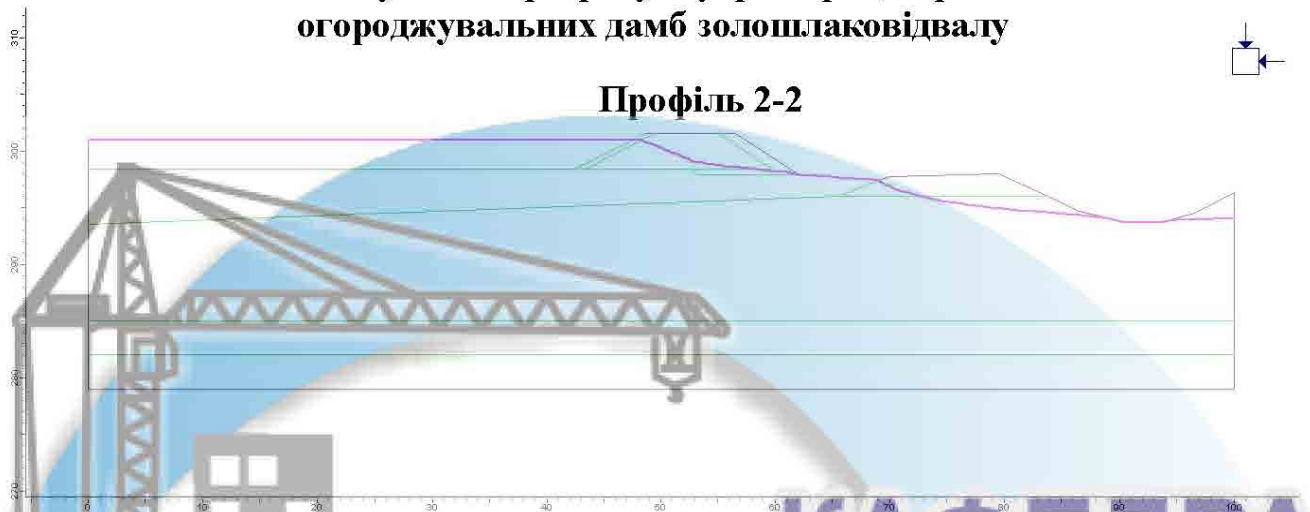


Рисунок Б.1 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
існуючий стан золошлаковідвалу

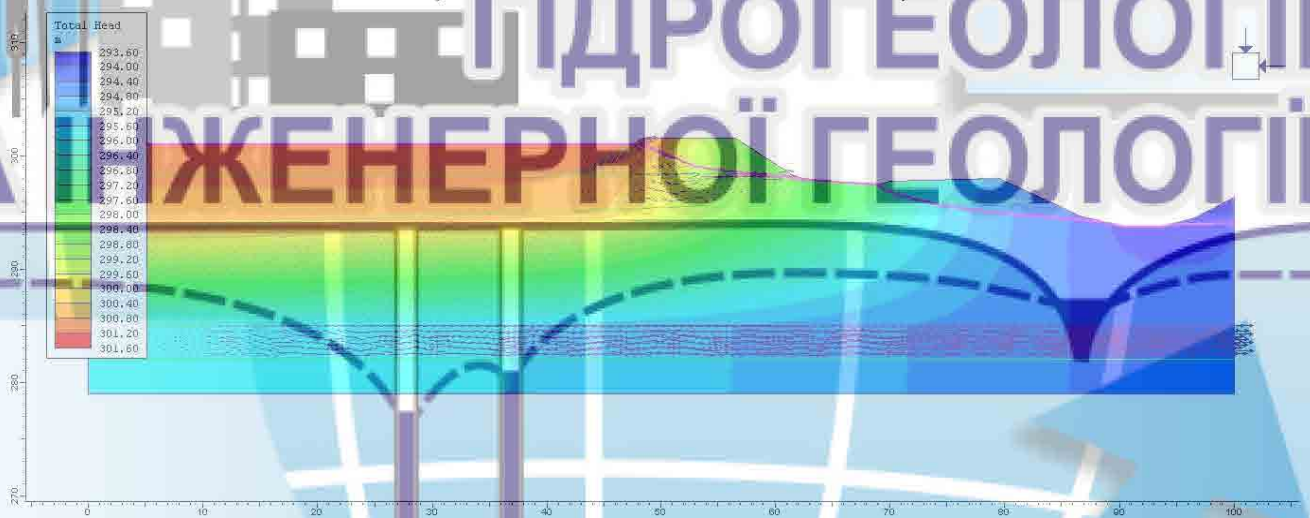


Рисунок Б.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалу



Рисунок Б.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Б

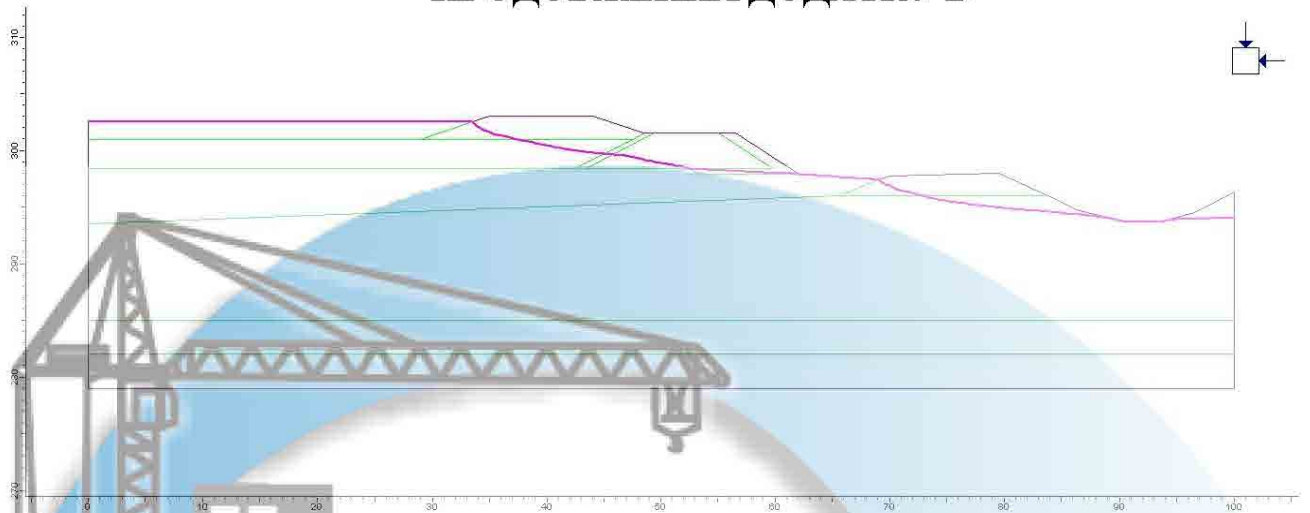


Рисунок Б.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу



Рисунок Б.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

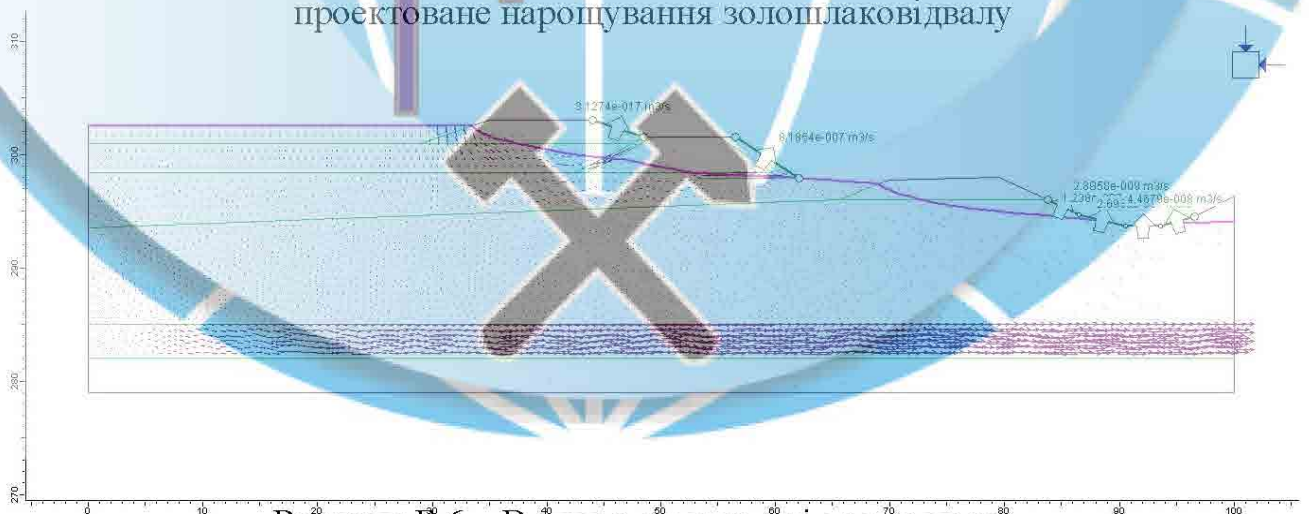
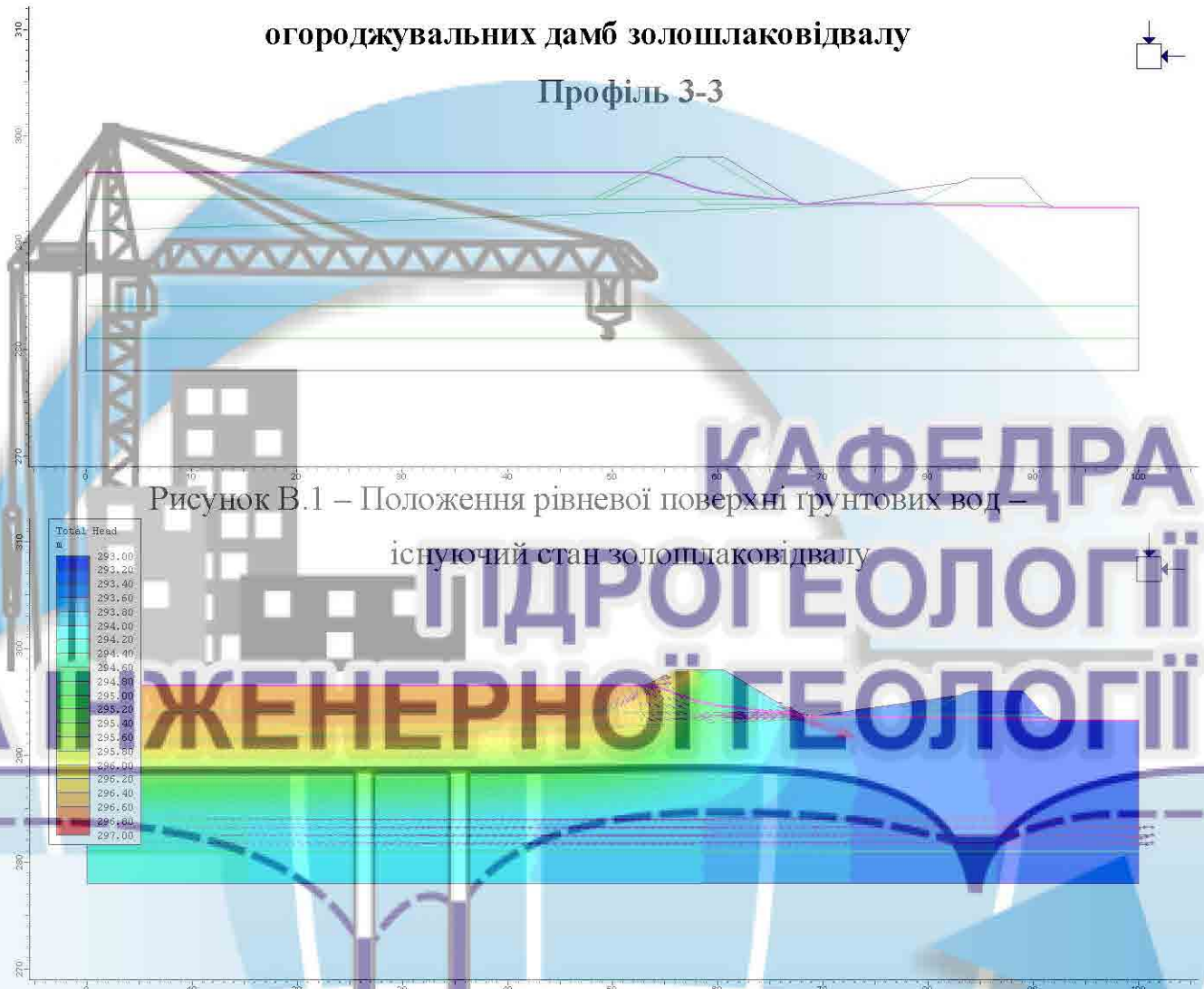
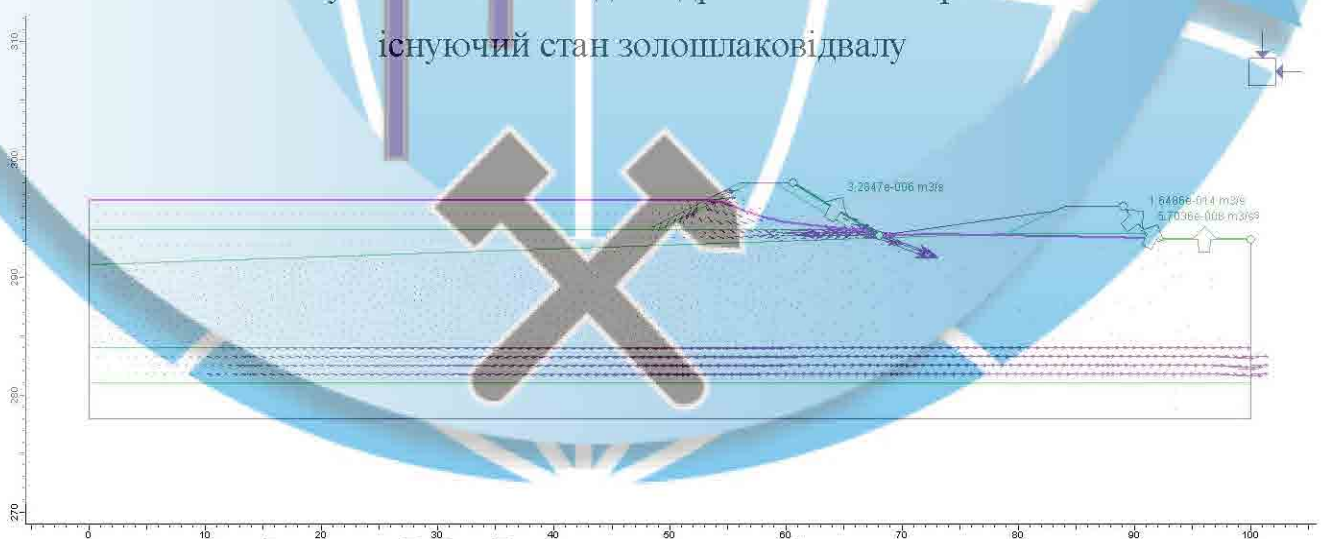


Рисунок Б.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

## ДОДАТОК В

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огорожувальних дамб золошлаковідвалу

## Профіль 3-3

Рисунок В.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ В

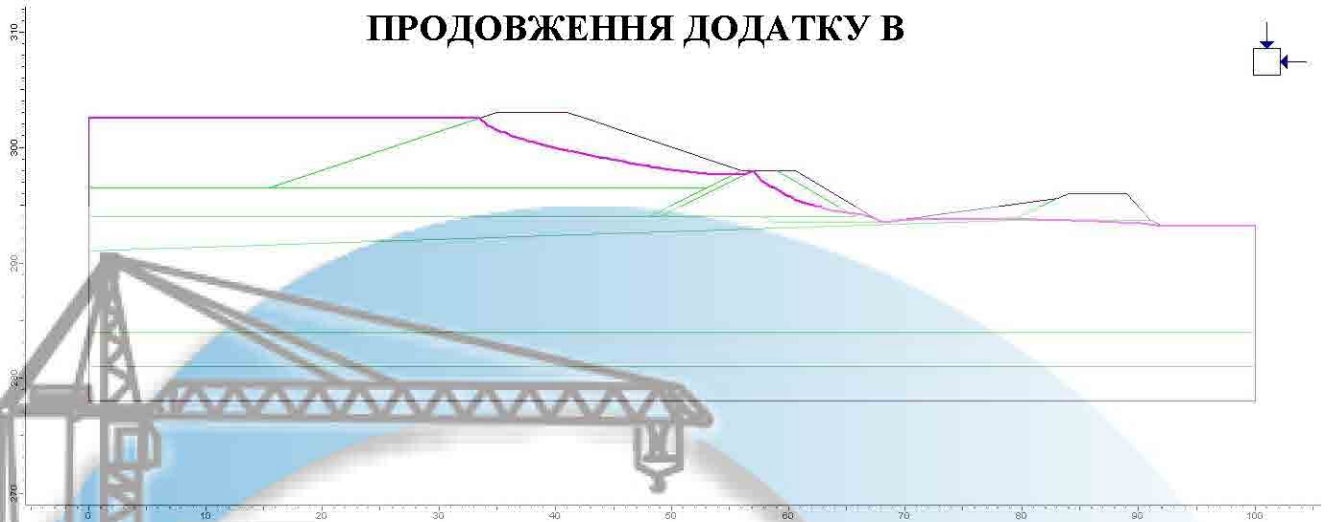


Рисунок В.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

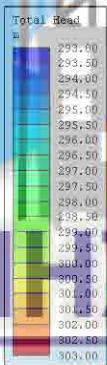


Рисунок В.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

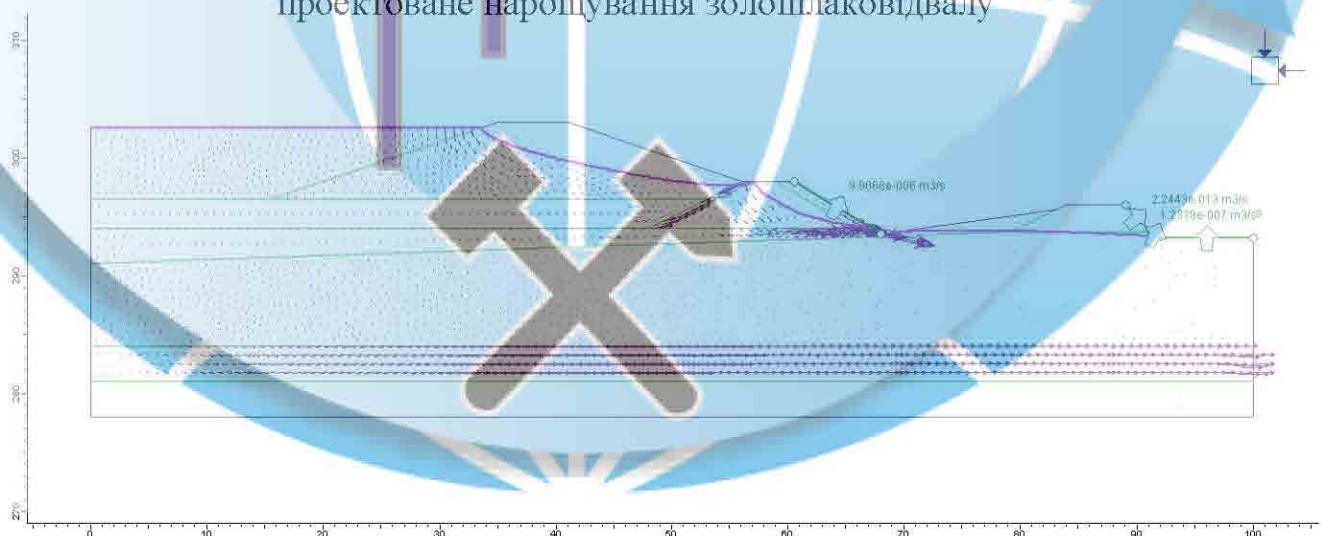


Рисунок В.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

## ДОДАТОК Г

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу



## Профіль 4-4



Рисунок Г.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалу

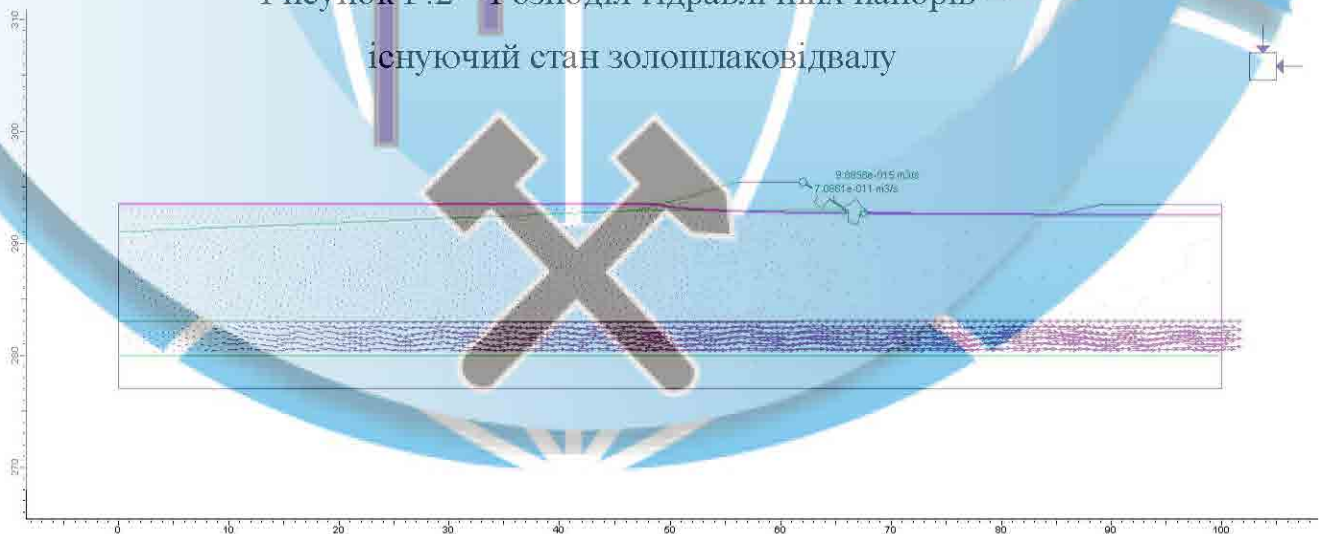


Рисунок Г.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Г

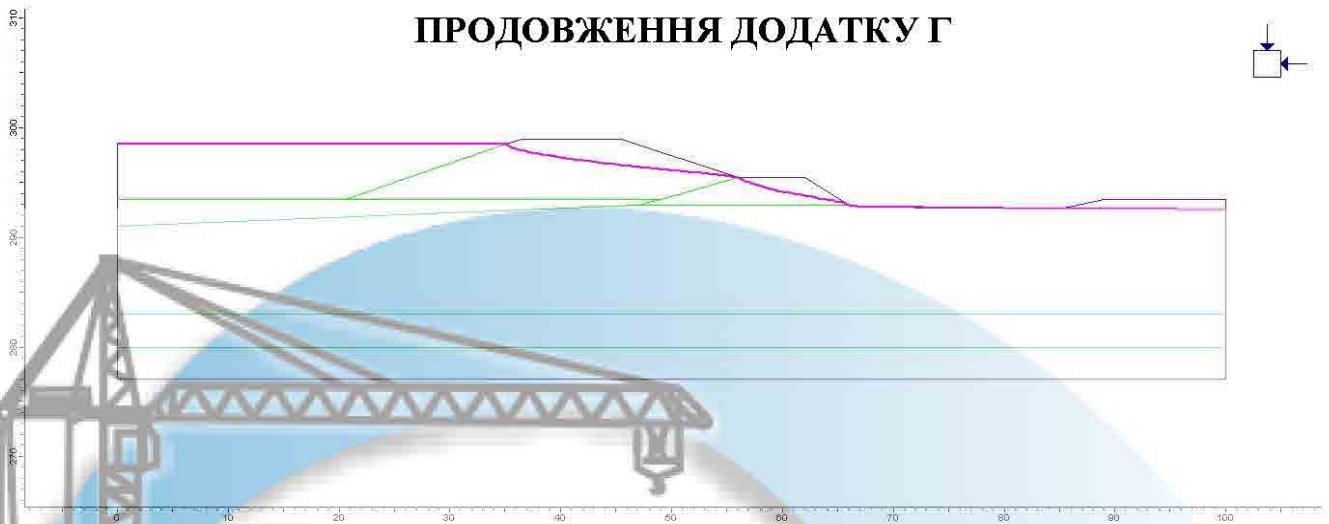


Рисунок Г.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу



Рисунок Г.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

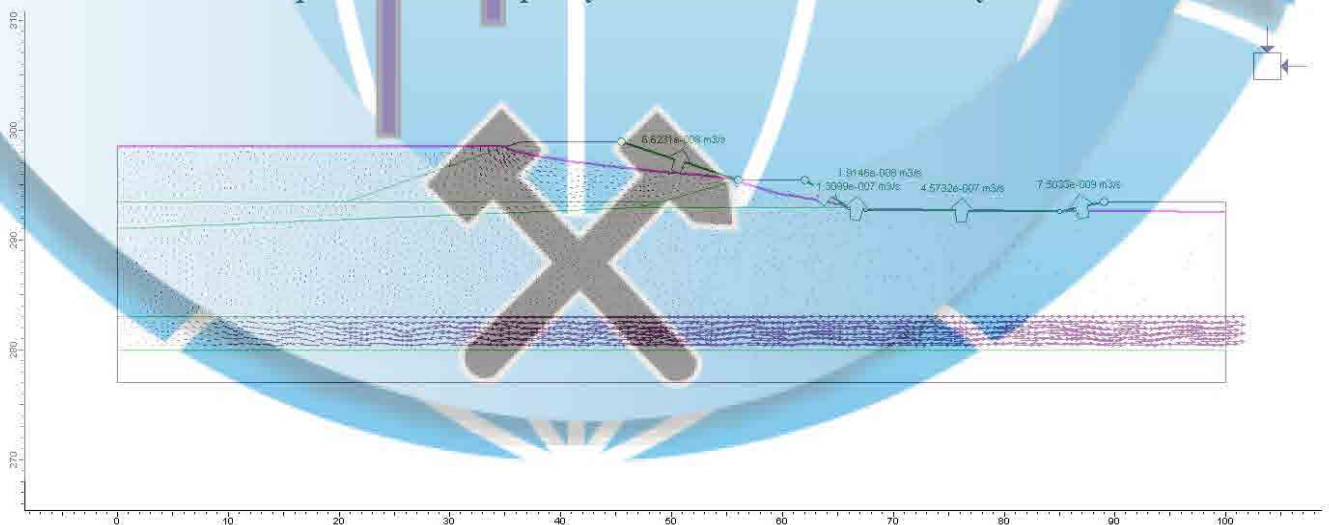


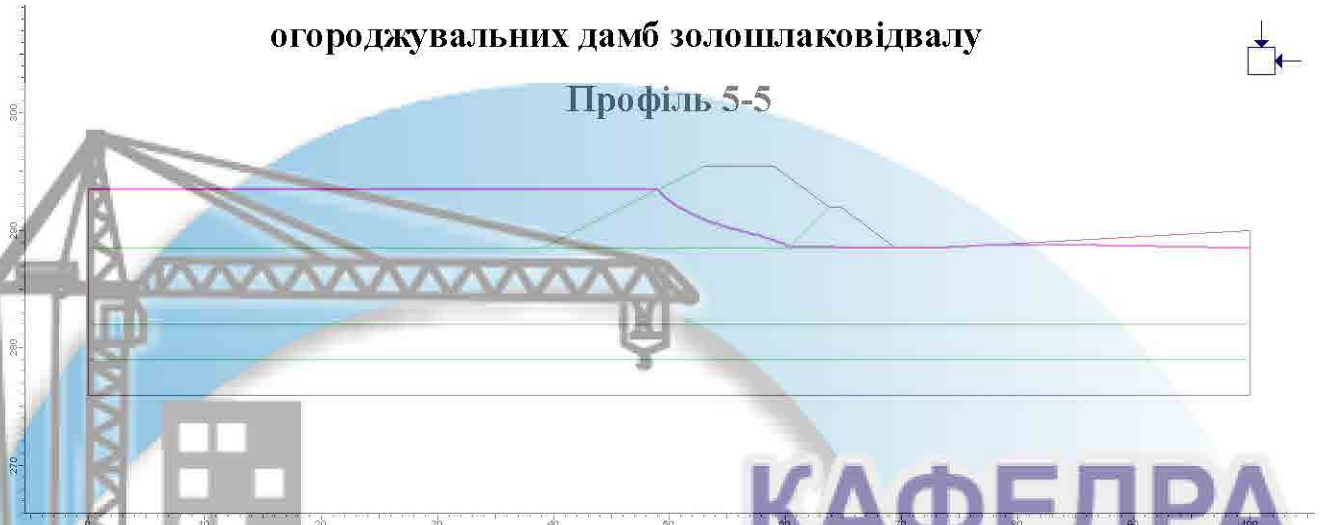
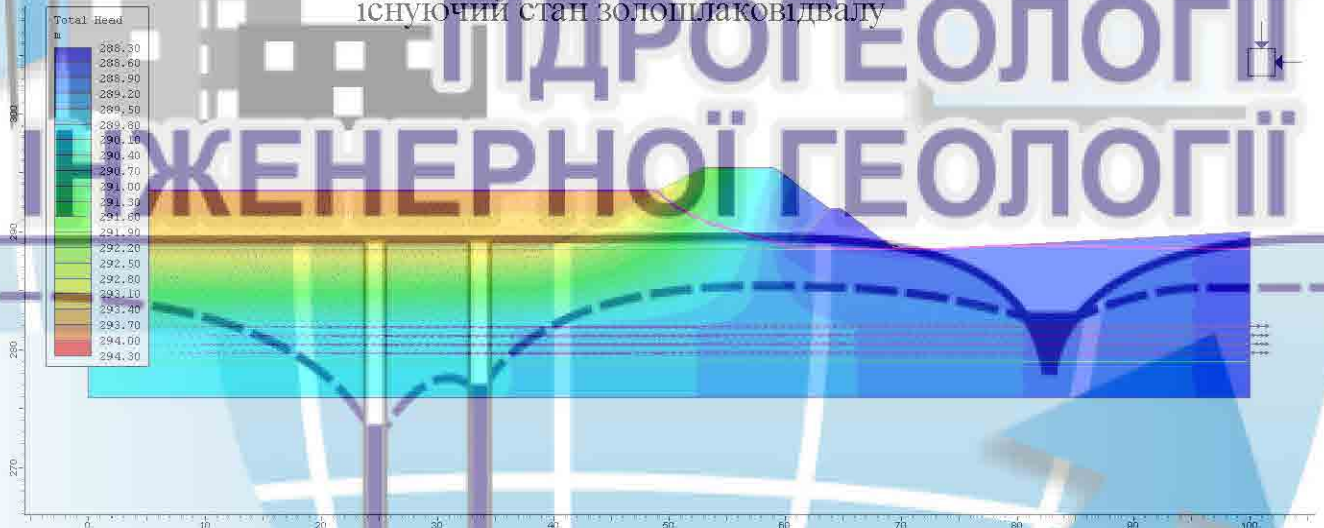
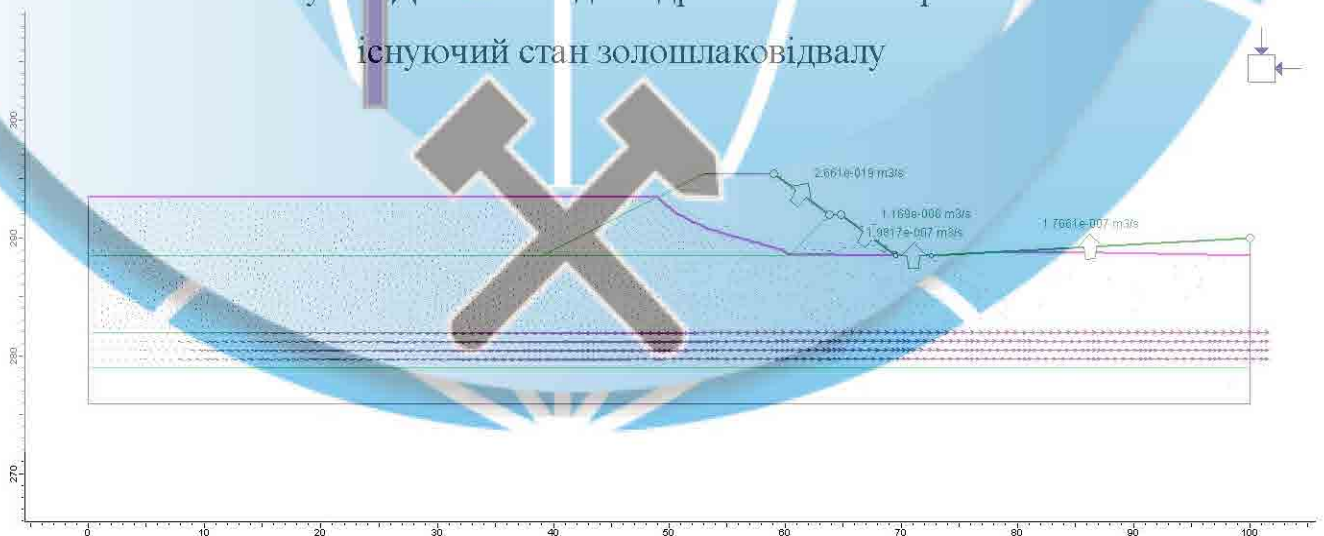
Рисунок Г.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу



## ДОДАТОК Д

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу

Профіль 5-5

Рисунок Д.1 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
існуючий стан золошлаковідвалуРисунок Д.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалуРисунок Д.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Д

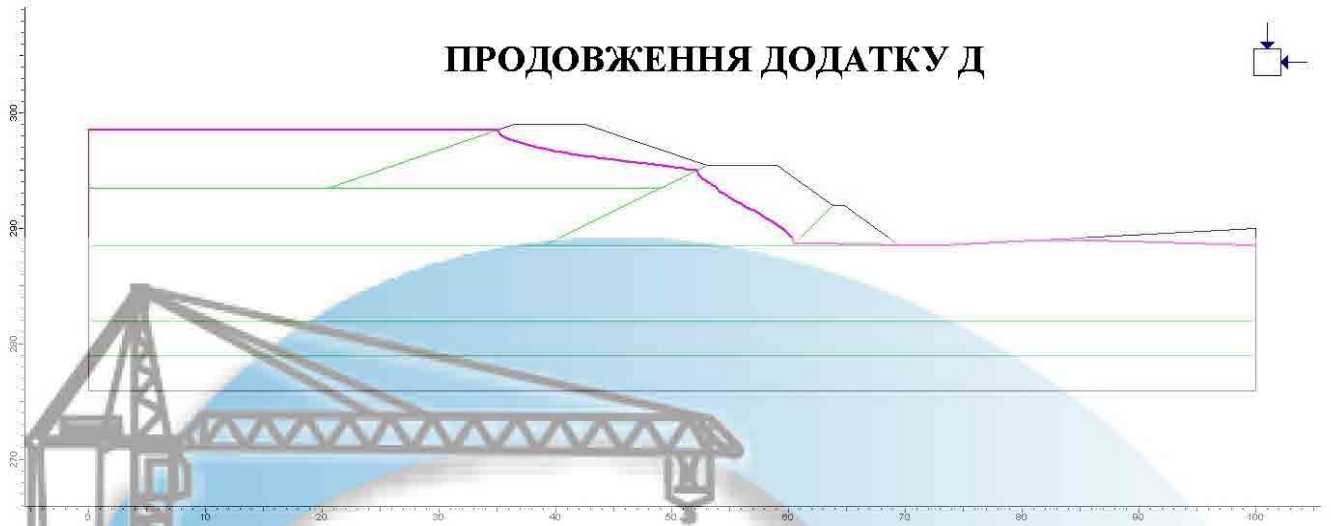


Рисунок Д.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу



Рисунок Д.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

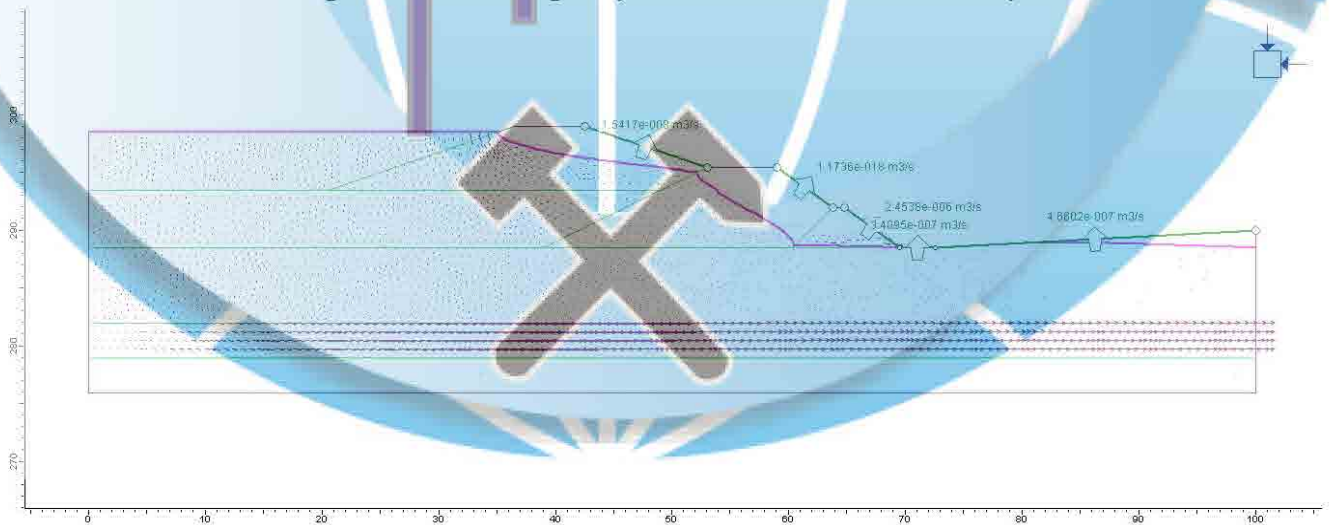


Рисунок Д.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

## ДОДАТОК Е

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу



Профіль 6-6



Рисунок Е.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалу

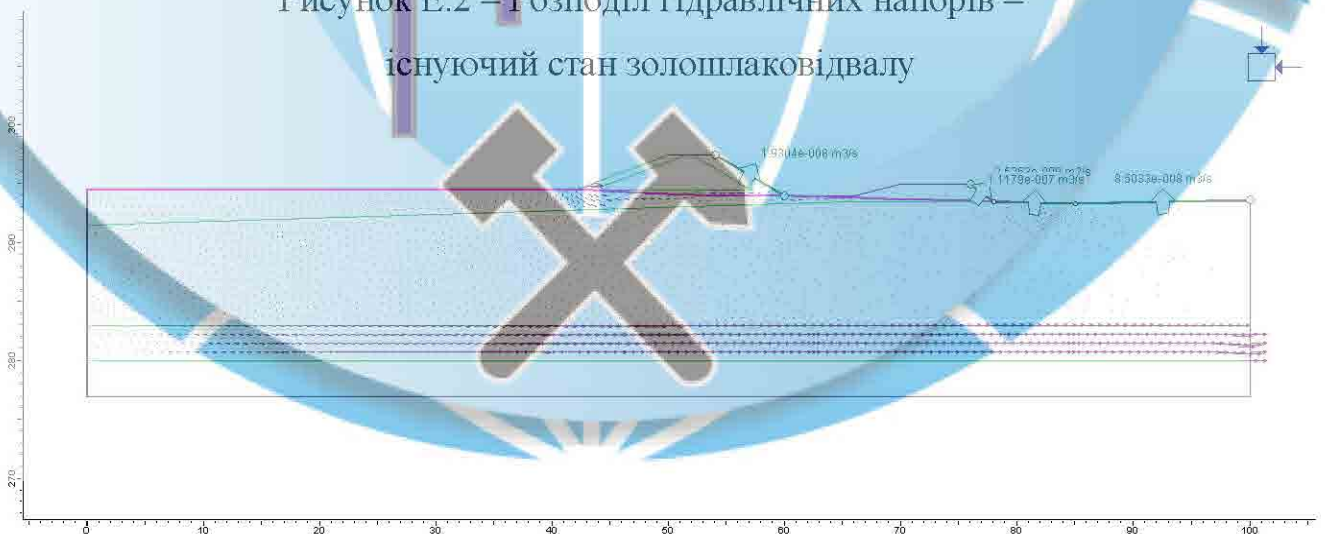


Рисунок Е.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Е

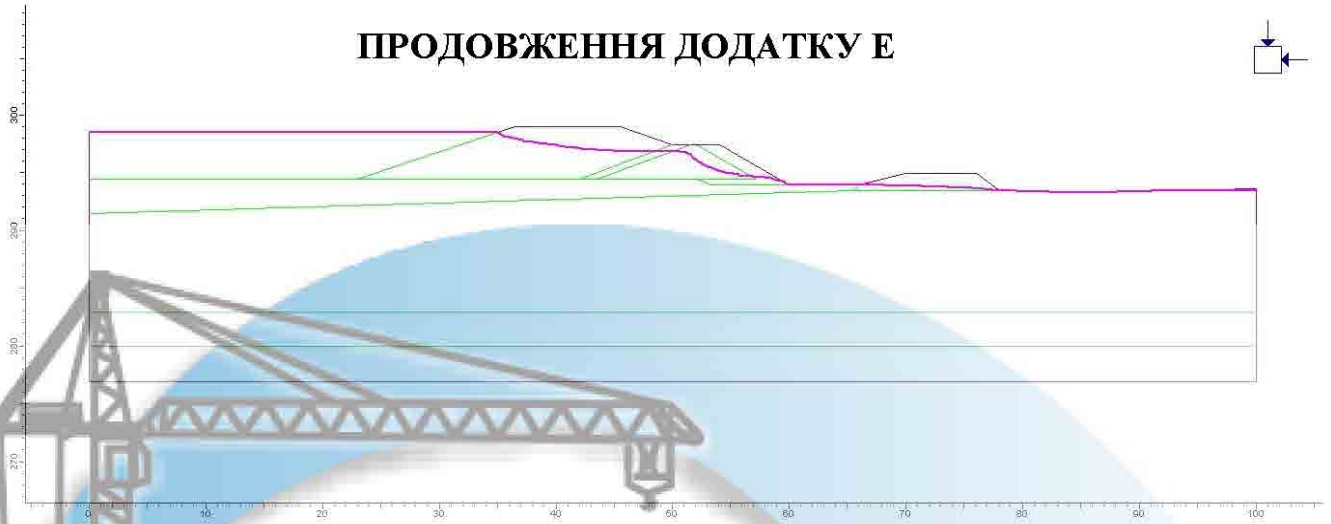


Рисунок Е.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

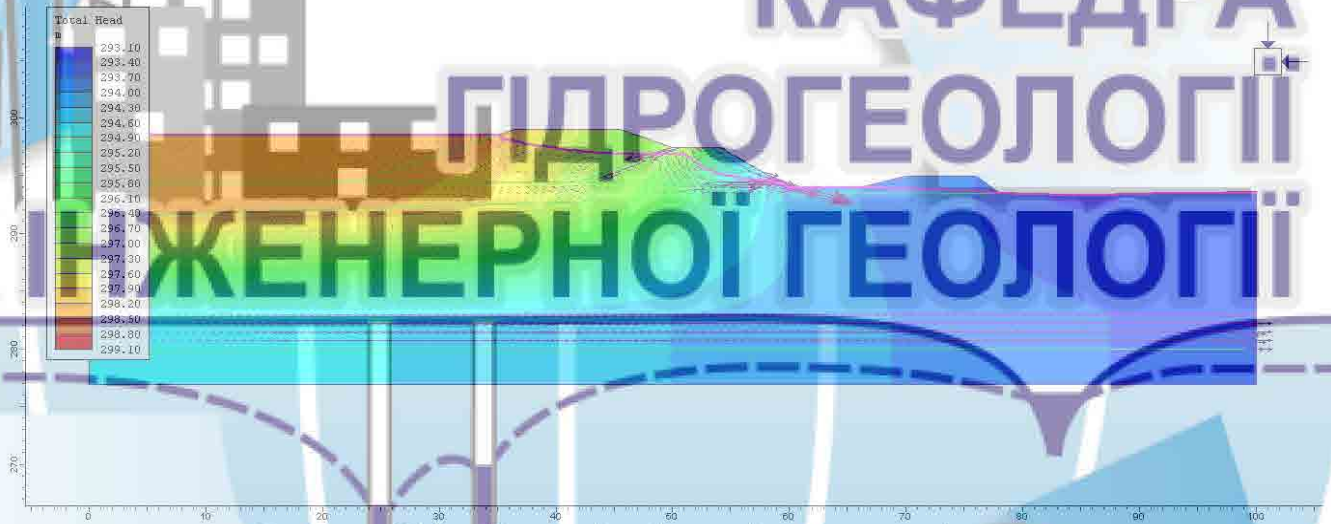


Рисунок Е.5 – Розподіл підв'язних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

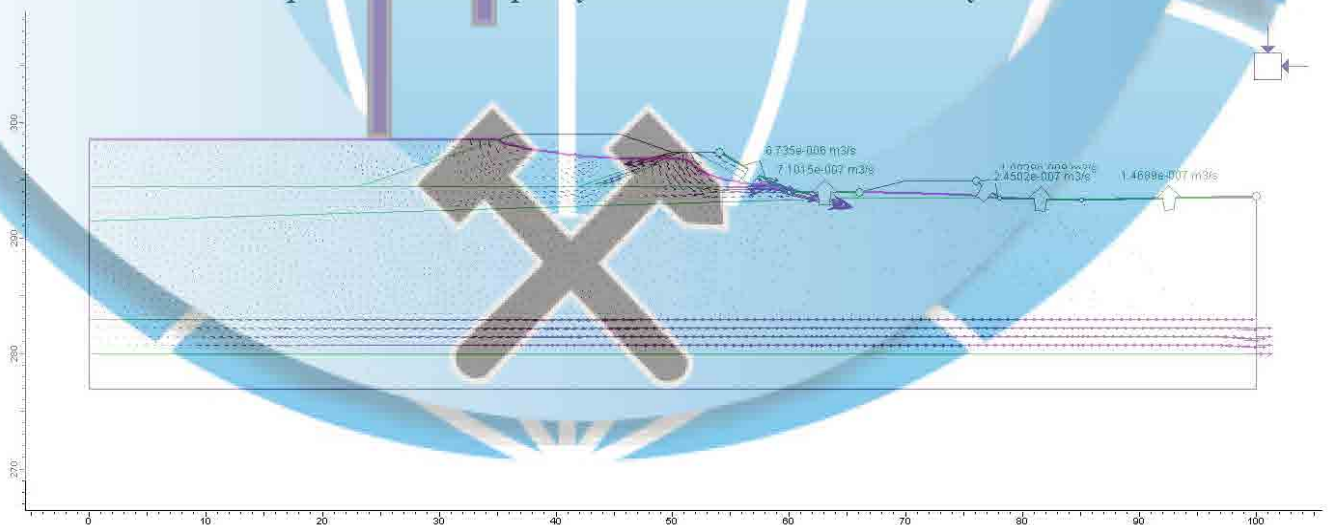


Рисунок Е.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

## ДОДАТОК Ж

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу

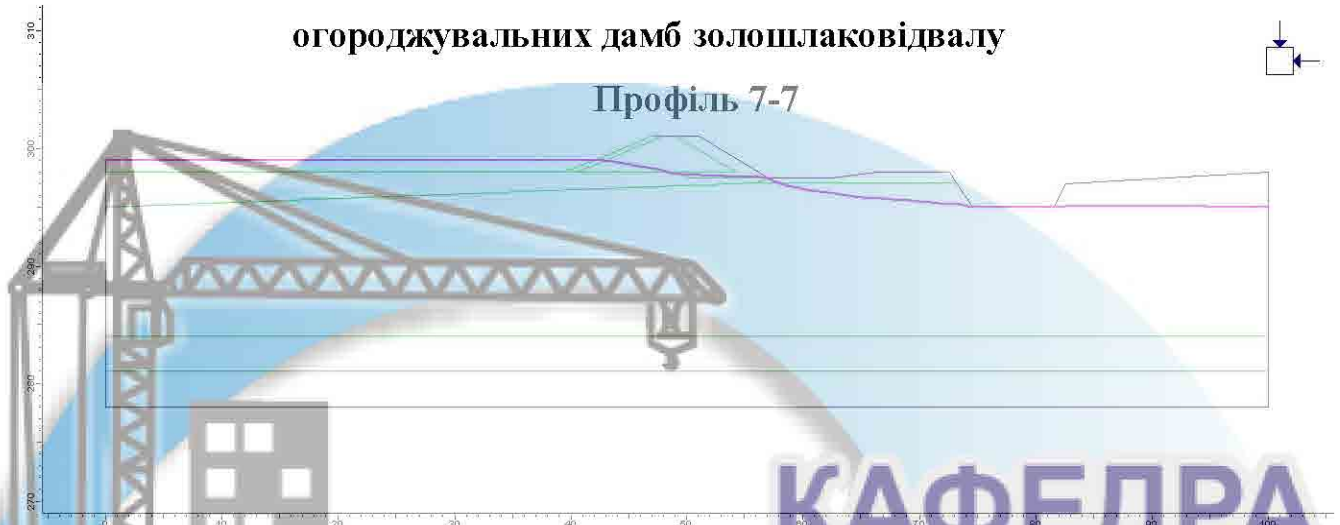


Рисунок Ж.1 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
існуючий стан золошлаковідвалу

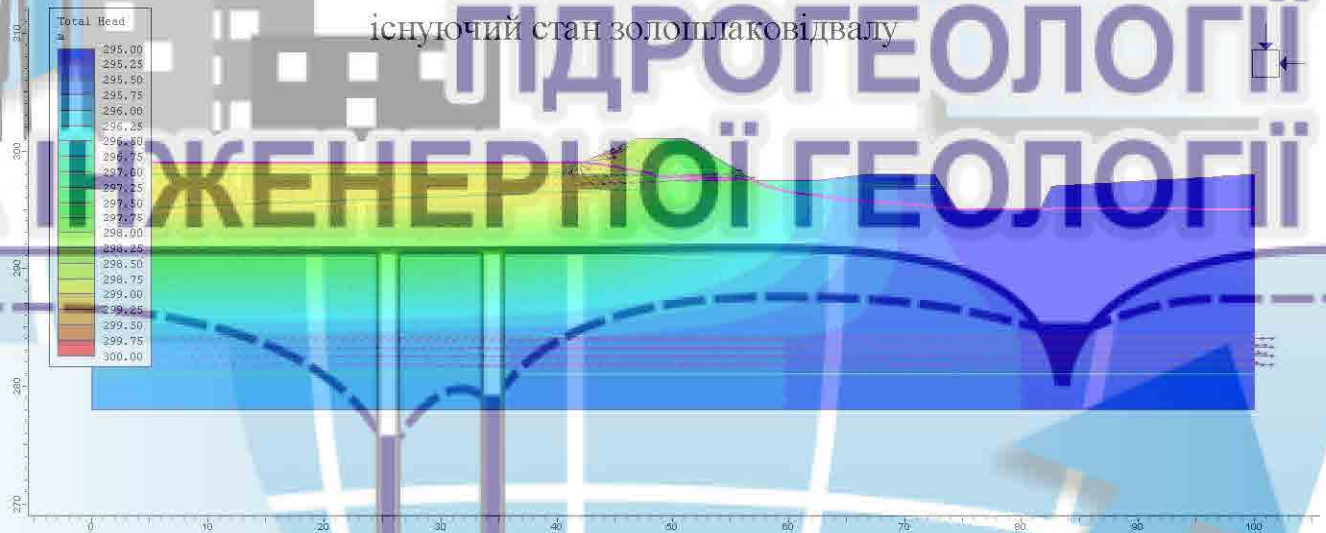


Рисунок Ж.2 – Розподіл гідравлічних напорів –  
існуючий стан золошлаковідвалу

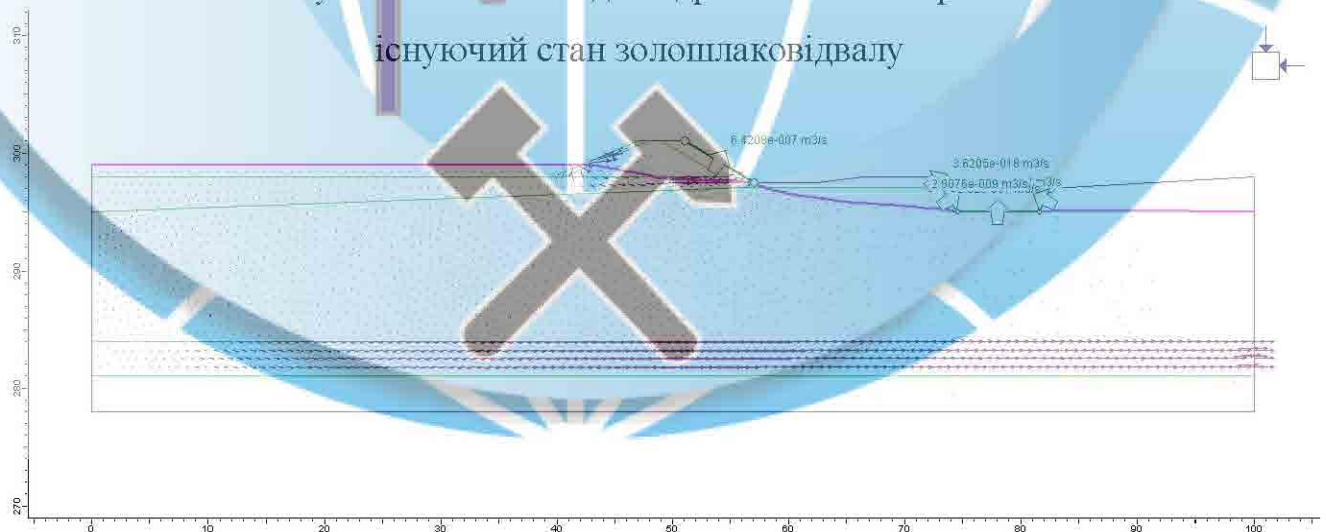


Рисунок Ж.3 – Витрати на контурі дренажування –  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ Ж

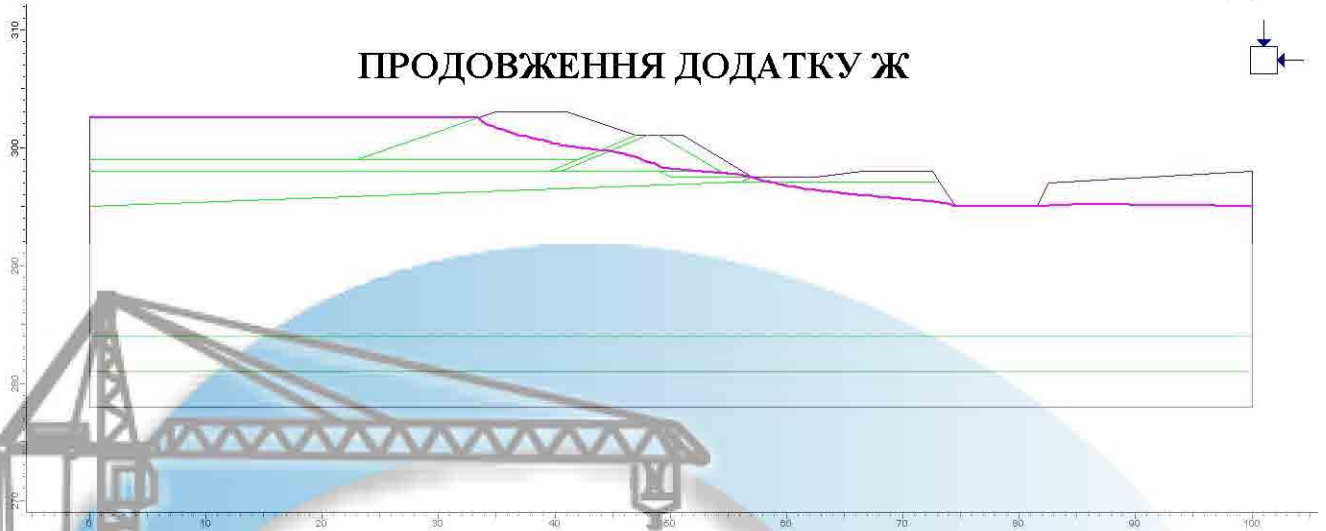


Рисунок Ж.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

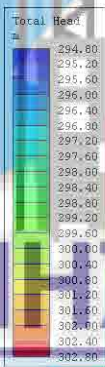


Рисунок Ж.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

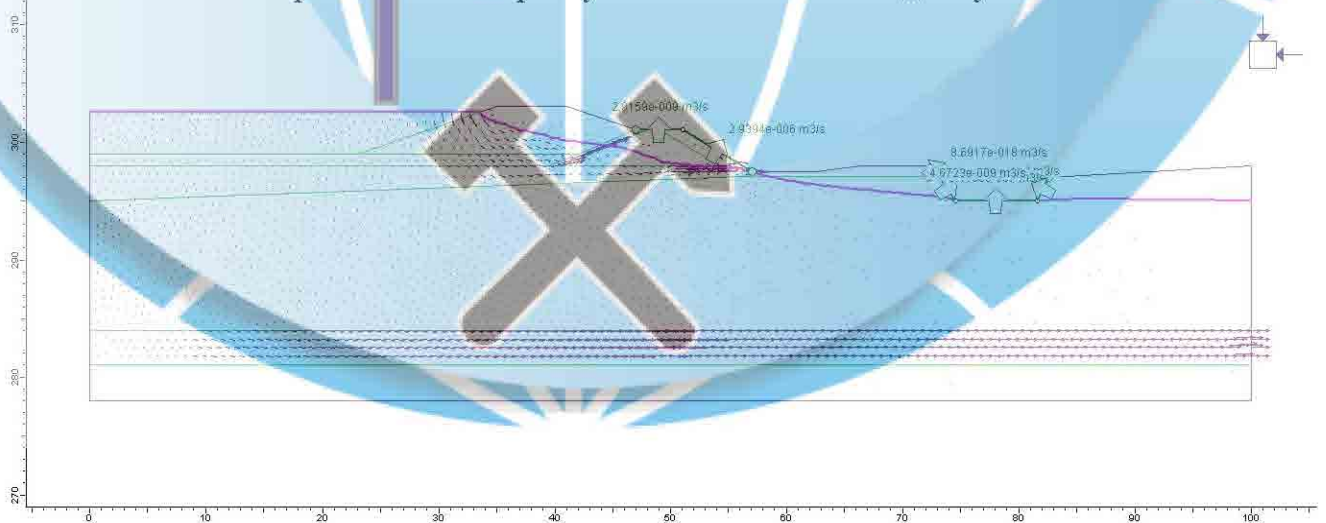


Рисунок Ж.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

ДОДАТОК И

Результати розрахунку фільтрації крізь тіло  
огороджувальних дамб золошлаковідвалу

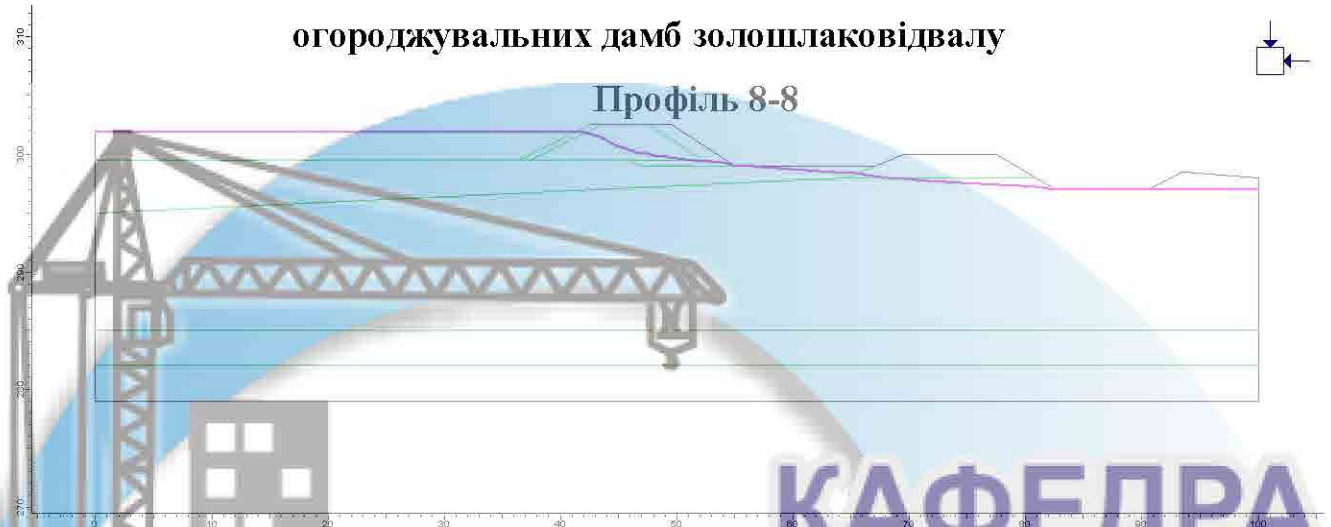


Рисунок И.1 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод —  
існуючий стан золошлаковідвалу

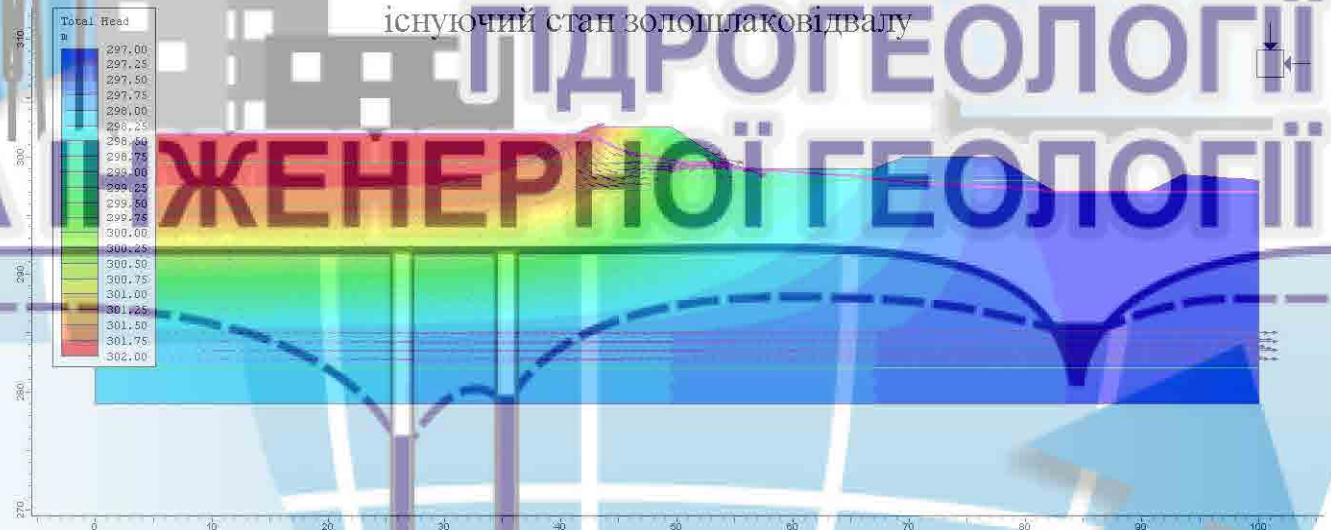


Рисунок И.2 – Розподіл гідравлічних напорів —  
існуючий стан золошлаковідвалу

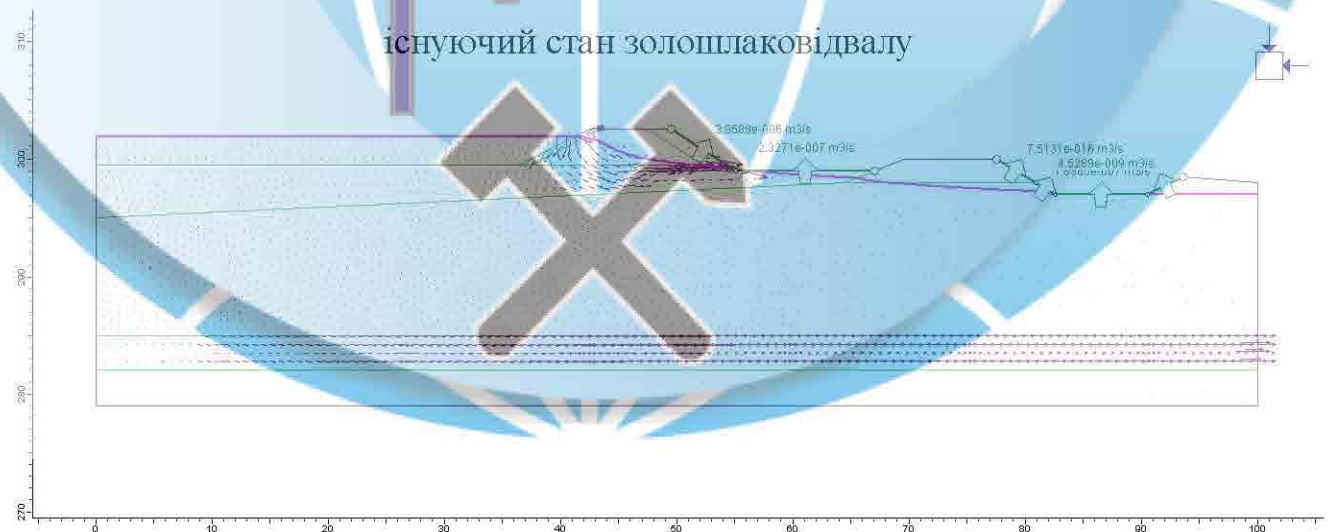


Рисунок И.3 – Витрати на контурі дренажування —  
існуючий стан золошлаковідвалу

## ПРОДОВЖЕННЯ ДОДАТКУ И

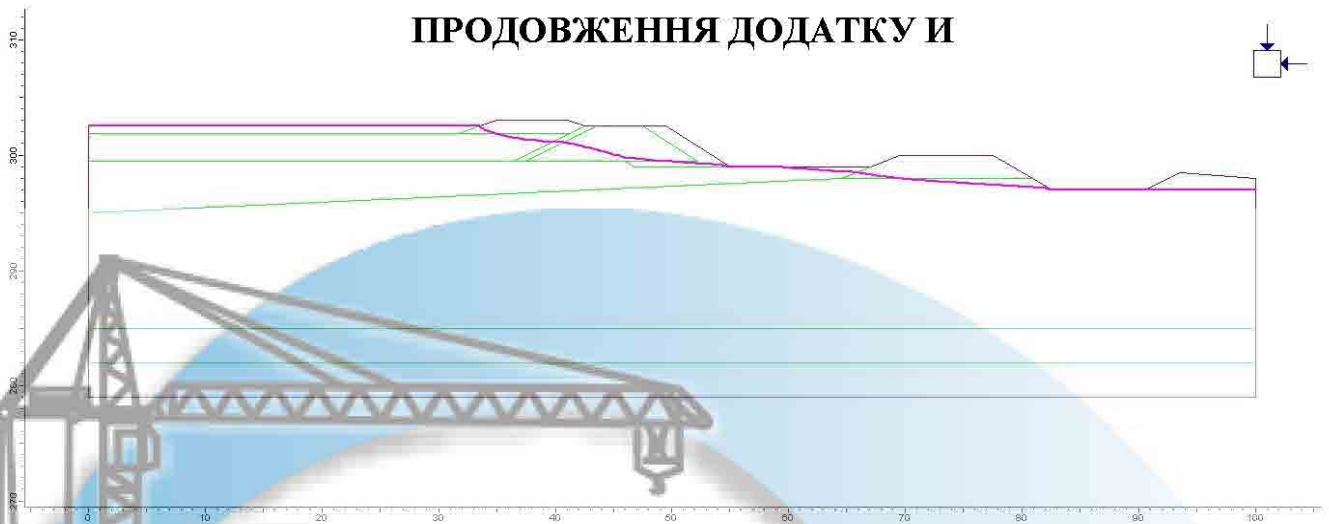


Рисунок И.4 – Положення рівневої поверхні ґрунтових вод –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

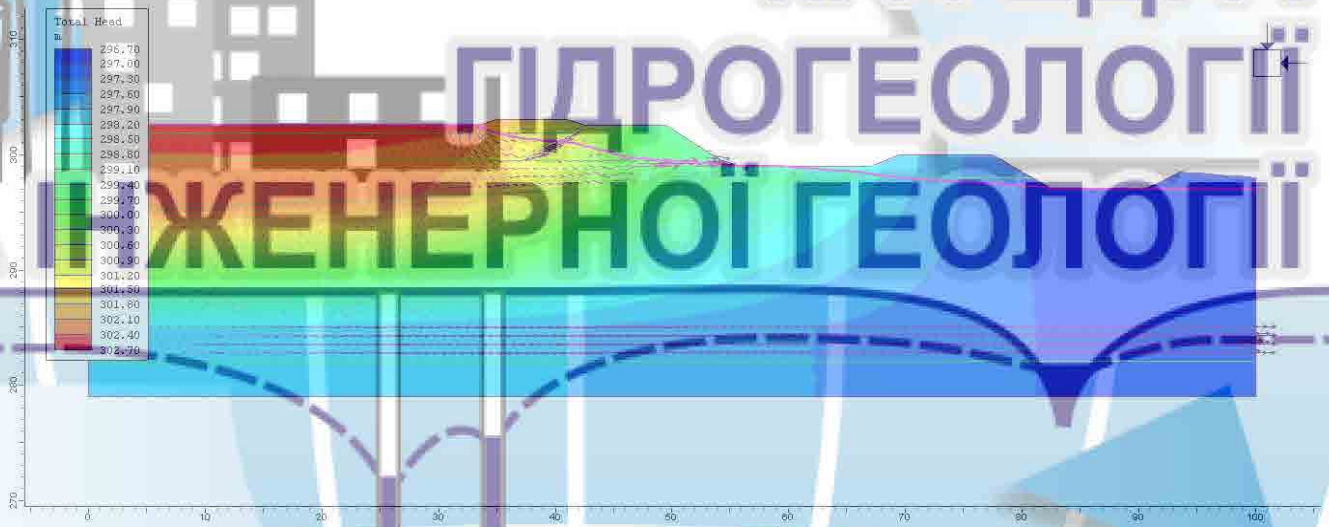


Рисунок И.5 – Розподіл гідравлічних напорів –  
проектване нарощування золошлаковідвалу

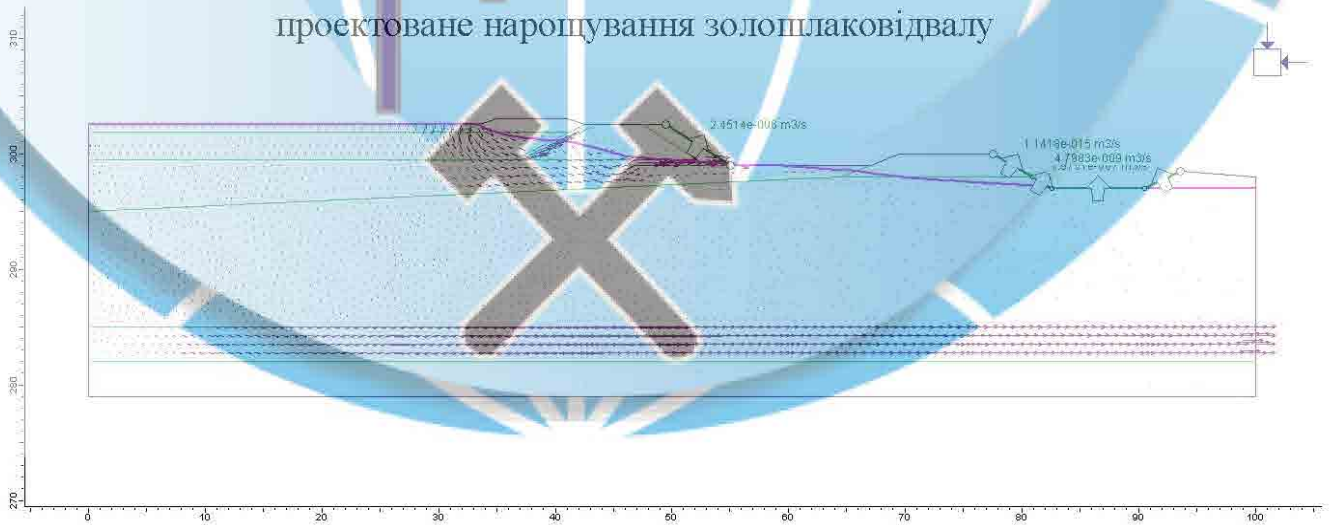


Рисунок И.6 – Витрати на контурі дренажування –  
проектване нарощування золошлаковідвалу



## ДОДАТОК К

### ВІДЗИВ

на кваліфікаційну роботу студентки гр. 103м-19-2 Чорноус Анастасії Віталіївни "Динаміка гідро- та геохімічного режимів у зоні розташування і масиві технологічного відвалу та схема локалізації геотехногенезу"

Кваліфікаційна робота Чорноус А.В. присвячена дослідженню закономірностей формування гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів підземних вод на ділянці розташування технологічного відвалу в умовах його реконструкції.

Для вирішення поставлених в роботі задач виконаний детальний аналіз умов і факторів формування техногенного режиму підземних вод та встановлені закономірності гідродинамічного режиму в умовах експлуатації технологічного відвалу.

За результатами математичного моделювання в роботі виконаний прогноз змін гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів підземних вод та обґрунтовані параметри дренажного водозниження на ділянці технологічного відвалу в умовах його проектованої реконструкції.

Поставлені в роботі задачі вирішені в повному обсязі, кваліфікаційна робота вміщує достатній 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 Чорноус А.В. – присвоєння ступеня магістр за спеціальністю "Науки про Землю".

Керівник кваліфікаційної роботи,  
к.т.н., доцент

В.І.Тимошук

## ДОДАТОК Л

### РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня магістр Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Гідрогеологія»), студентки гр. 103м-19-2 Черноус Анастасії Віталіївни «Динаміка гідро- та геохімічного режимів у зоні розташування і масиві технологічного відвалу та схема локалізації геотехногенезу»

Кваліфікаційна робота Черноус А.В. присвячена дослідженню гідрогеологічних умов ділянки технологічного відвалу ДП Калузька ТЕЦ та змін гідродинамічного і гідрогеохімічного режимів в умовах його реконструкції.

В процесі виконання роботи автором проведено аналіз і узагальнення даних про геолого-гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови досліджуваної території і ділянки технологічного відвалу, розроблені загальна гідродинамічна схема досліджуваної території, обґрунтовано структуру розрахункових моделей, їх початкові й граничні умови.

За результатами моделювання розроблено прогноз гідродинамічного режиму на ділянці технологічного відвалу у відповідності до схеми його реконструкції та виконана оцінка змін гідрогеохімічного стану підземної гідросфери.

На основі виконаних розрахунків автором роботи обґрунтовані заходи щодо підвищення гідргеомеханічної стійкості огорожувальних споруд технологічного відвалу в умовах проектованої реконструкції.

Всі розрахунки в роботі виконані із застосуванням спеціального програмного забезпечення та використанням ПЕОМ. Робота написана методично грамотно та належним чином оформлена.

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 Черноус А.В. – присвоєння ступеня магістр за спеціальністю «Науки про Землю».

Завідувач кафедри геофізичних  
методів розвідки, д.г.н., професор

М.М.Довбніч

## ДОДАТОК М

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи магістра

студента (ки) групи 103М-19-2

(шифр групи)

Чорноус Анастасії Віталіївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Динаміка гідро - та геохімічного режимів у зоні розташування і масиві технологічного відвалу та схема локалізації геотехногенезу»

Науковий керівник к.т.н., доцент Тимошук В.І.

(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

	Unicheck
Plagiat.pl «StrikePlagiarism»	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

к.т.н., доцент Тимошук В.І.

Нормо контролер

доц. Загриценко А.М.

Зав. кафедри

проф. Рудаков Д.В.

\_\_\_\_\_  
(дата)