

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

Факультет природничих наук та технологій  
(факультет)  
Кафедра гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Литвинова Сергія Олексійовича

академічної групи 103-18-2  
(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою Геологія  
(офіційна назва)

на тему «Інженерно-геологічні умови території Покровського промислового району та оцінка гідрогеомеханічної стійкості діючого породного відвалу у зв'язку з його реконструкцією»

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

Дніпро  
2022

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

Рудаков Д.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ »

2022 року

**ЗАВДАННЯ**

на кваліфікаційну роботу

ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Литвинову Сергію Олексійовичу

(прізвище та ініціали)

академічної групи 103-18-2

(шифр)

спеціальності Науки про Землю

за освітньо-професійною програмою Геологія

на тему «Інженерно-геологічні умови території Покровського промислового району та оцінка гідрогеомеханічної стійкості діючого породного відвалу у зв'язку з його реконструкцією»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 14.04.2022 № 203-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Геолого-технічна характеристика досліджуваної території. Аналіз геологічної будови, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов ділянки будівництва	15.04.2022- -30.04.2022
Спеціальний	Розрахунки геофільтрації та гідрогеомеханічної стійкості плоского породного відвалу. Розрахункова схематизація та методика розрахунків	01.05.2022- -31.05.2022
	Аналіз результатів розрахунків гідрогеомеханічної стійкості плоского породного відвалу. Обґрунтування рекомендацій щодо забезпечення несучої здатності укосів породного відвалу	01.06.2022- -15.06.2022

**Завдання видано**

(підпис керівника)

Тимошук В.І.

(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

15.04.2022

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

15.04.2022

**Прийнято до виконання**

(підпис студента)

Литвинов С.О.

(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 62 стор., 17 рис., 4 табл., 29 джерел.

Об'єктом досліджень в кваліфікаційній роботі є геофільтраційні та геомеханічні процеси в плоскому породному відвалі та ґрунтовій основі в умовах їх взаємодії.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в прогностичній оцінці гідргеомеханічної стійкості плоского породного відвалу в умовах дії основного сполучення навантажень.

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

У загальній частині наведена геолого-технічна характеристика досліджуваної території та виконаний аналіз інженерно-геологічних та гідргеологічних умов ділянки проєктованого будівництва.

У спеціальній частині виконана розрахункова схематизація плоского породного відвалу та обґрунтовані фізико-механічні та фільтраційні властивості відходів вуглезбагачення та ґрунтів основи.

За результатами моделювання виконаний аналіз гідргеомеханічної стійкості плоского породного відвалу.

За результатами виконаних прогностичних розрахунків надано рекомендації щодо зниження фільтраційних втрат в ґрунтову основу та забезпечення несучої здатності укосів породного відвалу.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПЛОСКИЙ ПОРОДНИЙ ВІДВАЛ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ

## ЗМІСТ

стор.

ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ .....	5
ВСТУП.....	7
1 ГЕОЛОГО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА .....	8
1.1 Фізико-географічні умови досліджуваної території .....	8
1.2 Геолого-гідрологічні та інженерно-геологічні умови ділянки будівництва .....	9
2 РОЗРАХУНКИ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ ТА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОГО ПОРОДНОГО ВІДВЛУ .....	16
2.1 Процедура розрахунку геофільтрації на ділянці породного відвалу .....	16
2.2 Процедура розрахунку гідрогомомеханічної стійкості породного відвалу .....	20
2.3 Розрахункова схематизація та методика розрахунків .....	25
3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКІВ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОГО ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ .....	34
3.1 Геофільтраційні розрахунки .....	34
3.2 Розрахунки стійкості породного відвалу .....	34
ВИСНОВКИ .....	38
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	40
ДОДАТОК А - Профіль 1-1 .....	45
ДОДАТОК Б - Профіль 2-2 .....	51
ДОДАТОК В - Профіль 3-3 .....	57
ДОДАТОК Г - Відзив керівника кваліфікаційної роботи .....	59
ДОДАТОК Д - Рецензія на кваліфікаційну роботу .....	61
ДОДАТОК Е - Протокол перевірки кваліфікаційної роботи .....	62

## ТЕРМІНИ І ВИЗНАЧЕННЯ

Гідродинамічний режим	Процеси зміни напорів (рівнів), швидкостей і витрат потоків підземних вод під дією природних і штучних факторів
Гідравлічна проникність	Здатність порід пропускати через себе рідину, характеризується величиною коефіцієнта фільтрації
Гідравлічний напір	Величина тиску рідини, яка виражається висотою стовпа рідини над вибраним рівнем відліку, вимірюється в лінійних одиницях (метрах)
Гідравлічний ухил	Величина спаду лінії повного напору потоку рідини на одиницю довжини потоку, є характеристикою втрати напору на одиницю довжини
Депресійна крива	Лінія, утворена в результаті перетину вертикальною площиною депресійної поверхні підземного потоку за напрямком його руху
Граничний стан (міцність) ґрунту	Стан ґрунту в точці, при якому дотичні та нормальні напруження в елементі ґрунту пов'язані критерієм міцності (Кулона, Кулона-Мора, Мізеса-Шлейхера та інш.), а деформації зсуву можуть розвиватися необмежено
Коефіцієнт надійності за навантаженням	Коефіцієнт, що враховує в умовах нормальної експлуатації можливе відхилення навантажень в несприятливу (більшу чи меншу) сторону від нормативних значень
Коефіцієнт сполучень навантажень	Коефіцієнт, що враховує зменшення ймовірності одночасного досягнення декількома навантаженнями їх розрахункових значень

Нормативне значення навантажень

Основна базова характеристика навантаження, встановлювана відповідними нормами проектування, технічними умовами або завданням на проектування

Розрахункові сполучення навантажень

Всі можливі несприятливі комбінації навантажень, які необхідно враховувати при проектуванні об'єкта



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## ВСТУП

Кваліфікаційна робота присвячена оцінці гідрогеомеханічної стійкості плоского породного відвалу ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА», виконаній у зв'язку з його проектуванням будівництвом.

Об'єктом досліджень в кваліфікаційній роботі є геофільтраційні та геомеханічні процеси в плоскому породному відвалі та ґрунтовій основі в умовах їх взаємодії.

Метою роботи є прогнозна оцінка гідрогеомеханічної стійкості плоского породного відвалу в умовах дії основного сполучення навантажень.

При виконанні розрахунків застосований програмний комплекс *Phase2*, реалізований на базі методу кінцевих елементів для двовимірного аналізу гідрогеомеханічного стану навантажених породних масивів.

В процесі виконання робіт вирішені наступні задачі:

- виконані аналіз і узагальнення даних щодо геолого-гідрогеологічних, інженерно-геологічних та геолого-технічних умов ділянки породного відвалу;
- виконана прогнозна оцінка гідродинамічного стану на ділянці породного відвалу відповідно до прийнятої схеми його формування;
- визначена гідрогеомеханічна стійкість плоского породного відвалу в умовах дії основного сполучення навантажень.

Основа для виконання прогнозних розрахунків склали результати інженерних вишукувань, дані режимних спостережень та матеріали досліджень, виконаних ДП «ПРОМБУДНДПРОЕКТ» (2010-2015), ПП НВФ «СУПРЕМУМ ЕКО-С» (2015), ДВНЗ «НГУ» (2015), ПП «УКРГЕОЛСЕРВІС» (2021).

Результати виконаних досліджень доповідалися на 77-ій студентській науково-технічній конференції «ТИЖДЕНЬ СТУДЕНТСЬКОЇ НАУКИ».

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ПЛОСКИЙ ПОРОДНИЙ ВІДВАЛ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГЕОФІЛЬТРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ

# 1 ГЕОЛОГО-ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ ПРОЕКТОВАНОГО БУДІВНИЦТВА

## 1.1 Фізико-географічні умови досліджуваної території

Адміністративно ділянка проектного будівництва розташована на відстані близько 2200 м на північ від північної окраїни с. Удачне, поруч з територією Свято-Варваринської збагачувальної фабрики у Покровському районі Донецької області. На час проведення інженерно-геологічних вишукувань ділянка не забудована, знаходиться в межах оброблених земель, призначених для сільськогосподарського виробництва.

Відповідно до геоморфологічного розчленування території України ділянка будівництва приурочена до Центрально-Донецької структурно-денудатійної височини на дислокованих карбонових відкладах. У геоморфологічному відношенні ділянка розташована на вододільному плато між ріками Вовча і Бик. Рельєф ділянки рівний, спокійний, нерозчленований.

Абсолютні позначки поверхні відповідно до топографічного плану місцевості масштабу 1:500 змінюються від 151,00 до 175,00 м (в Балтійській системі висот).

Несприятливих фізико-геологічних процесів і явищ на ділянці будівництва не виявлено.

Гідрографічна мережа території проектного будівництва відповідно до гідрологічного розчленування території України належить до Сіверськодонецько-Дніпровської області недостатньої водності.

Покровський район за архітектурно-будівельним районуванням відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 відноситься до зони II – Південно-Східний кліматичний район.

Відповідно до ДБН В.1.2-2:2006 «Характеристичні значення навантажень та впливів для міст України»:

- снігове навантаження – 1400 Па;



- вітрове навантаження – 480 Па;
- товщина ожеледі – 19 мм;
- вітрове навантаження при ожеледі – 230 Па.

Нормативна глибина сезонного промерзання, розрахована відповідно до ДБН В.2.1-10-2018 становить:

- для глин і суглинків – 0,81 м;
- для супісків, пісків дрібних та пилюватих – 0,99 м;
- для пісків крупнопіщаних та середньозернистих – 1,06 м.

## 1.2 Геолого-гідрологічні та інженерно-геологічні умови ділянки будівництва

Грунтова товща на ділянці проєктованого будівництва за номенклатурною ознакою і властивостями, згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96, розділена на два інженерно-геологічних елемента (ІГЕ), в межах яких товща є статистично однорідною за складом і властивостями.

Відповідно до даних, наведених в [28], у сфері впливу споруди, що проєктується, до розвіданої глибини 8,0 м залягають нерозчленовані еолово-елювіальні та елювіальні відклади верхньоплейстоценового відділу, що складені суглинком важким (ІГЕ-2), а також сучасні утворення – ґрунт рослинного шару (ІГЕ-1).

### Сучасні утворення

ІГЕ-1 (е Н). Ґрунт рослинного шару без коріння чагарнику і дерев. Потужність ІГЕ у свердловинах складає від 0,50 до 1,30 м, може змінюватись в межах ділянки. Номер ґрунту за трудомісткістю розробки згідно ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 – 9а, категорія розробки одноковшевим екскаватором – 1. Категорія ґрунтів за сейсмічністю згідно з таблицею 5.1 ДБН В.1.1-12:2014 – IV.

### Плейстоценові відклади

ПЕ 2 (vd,e P<sub>III</sub>). Суглинок важкий, пілуватий, твердої консистенції, коричневий, червоно-бурий, буро-коричневий, непросідний. Потужність ПЕ складе у свердловинах від 6,70 до 7,50 м, може змінюватись в межах ділянки. Номер ґрунту за трудомісткістю розробки згідно ДСТУ Б.Д.2.2-1:2012 – 35в, категорія розробки одноковшевим екскаватором – 2. Категорія ґрунтів за сейсмічністю згідно з таблицею 5.1 ДБН В.1.1-12:2014 – II.

Нумерація ПЕ відповідає нумерації виділених шарів.

Територія вишукувань, згідно Зміни № 1 ДБН В.1.1-12: 2014 «Будівництво у сейсмічних районах України», розташована в районі з п'ятибальною сейсмічністю відповідно до карти ЗСР-2004-А ДБН В.1.1-12: 2014.

Згідно з ДБН В.1.1-12:2014 (п. 5.1.1) рішення щодо вибору карти при проектуванні конкретного об'єкта і віднесенню об'єкту до класу наслідків (відповідальності) приймається генеральним проектувальником у відповідності до ДСТУ-8855:2019 та узгоджується із Замовником.

Майданчик вишукувань за гідрогеологічним розчленуванням території України розташовано у межах Північно-західної області Донецької складчастої структури.

Станом на червень 2021 року свердловинами до розвіданої глибини 8,0 м (абс. відм. забою свердловин 143,00...167,00 м) підземні води не були розкриті.

Максимальне положення рівня в річному режимі припадає на квітень-травень, мінімальне – на жовтень-листопад, середньорічна амплітуда сезонних коливань по номограмі ІМРа становить 1,00 м.

Коефіцієнти фільтрації ґрунтів, що складають зону аерації, наступні: суглинокважкий (ПЕ-2) – 0,005...0,05 м/добу.

Згідно ДБН В.1.1-24-2009 «Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення», зважаючи на літологічний склад порід, досліджувана територія відноситься до категорії потенційно підтоплених підземними водами.

Властивості ґрунтів визначені відповідно до вимог ДБН А.2.1-1-2008 та ДБН В.2.1-10:2018.

Для випробовуваних зразків ґрунту визначені фізичні характеристики згідно ДСТУ Б В.2.1-17:2009: природна вологість, щільність, щільність ґрунтових частинок, вологість на межах розкочування і текучості, гранулометричний склад глинистих ґрунтів ареометричним методом згідно ДСТУ Б В.2.1-19:2009, а також обчислені щільність сухого ґрунту, коефіцієнт пористості, ступінь вологості, число пластичності та показник консистенції.

Деформаційні та міцнісні властивості ґрунтів визначені відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-4-96.

Просідні властивості ґрунтів визначені відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1.- 22:2009.

За результатами компресійних випробувань суглинки ПЕ-2 не проявляють просідних властивостей при замочуванні.

Аналіз гідрогеологічної обстановки на ділянці, що прилягає до території вишукувань, показав: гідрогеологічна ситуація стабільна, підйому рівня підземних вод не спостерігається, відзначаються лише його сезонні коливання.

Стабільна гідрогеологічна ситуація пояснюється достатньо розвинутою яружно-балочною системою в межах досліджуваної території, що сприяє природному дренажу.

Суглинки ПЕ-2 на даний час знаходяться у твердому стані, проте можливе їх подальше замочування в зоні аерації (5,0...7,0 м) внаслідок просочування атмосферних опадів або техногенного підтоплення може призвести до погіршення фізико-механічних властивостей: зниженню деформаційних і міцнісних характеристик, збільшенню вологості.

Схема розташування інженерно-геологічних свердловин і інженерно-геологічні розрізи по лініям III – III' та VII – VII' наведені на рисунках 1.1, 1.2 та 1.3 відповідно.

# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## Умовні позначення:

Свд. 1 – номер інженерно-геологічної свердловини;  
+171,00 – абсолютна висівтка ґрунту свердловини, м;

● – геотехнічно-геологічна свердловина;



- лінія інженерно-геологічного розрізу.

Рисунок 1.1 – Схема розташування інженерно-геологічних свердловин



М вертикальний 1:100

М горизонтальний 1:1000

VII

VII'



Рисунок 1.3 – Інженерно-геологічний розріз за лінією VII-VII'

Згідно з [29], в період проведення інженерних вишукувань (квітень 2007 р.) на ділянці проектного будівництва зафіксований один водоносний горизонт типу «верховодка».

Грунтові води зустрінуті у свердловинах, пробурених біля русла балки і її відрога на глибинах 3,2...5,5 м. В інших свердловинах, пробурених на водорозділі до 6,0 м, ґрунтові води не зустрінуті.

Для водоносних горизонтів типу «верховодки» характерні значні сезонні коливання рівня і потужності. В період інтенсивних дощів і активного сніготанення рівень ґрунтових вод значно підвищується, іноді до виходу на денну поверхню, в той же час в посушливий період рівень може значно знижуватись. Це підтверджується вишукуваннями, проведеними раніше. У 2004 році в липні місяць на суміжній ділянці ґрунтові води зафіксовані на глибинах 2,0...3,0 м від поверхні, у вересні 2005 році на віддаленні від верхів'їв балок вода зафіксована на глибинах 4,0 і більше метрів від поверхні, а в понижених частинах рельєфу в міру наближення до тальвегів балок на 2,0...2,5 м від поверхні.

Таким чином, в окремі періоди рясного сніготанення й інтенсивних дощів ґрунтові води можуть досягати глибини 3,0...3,5 м від поверхні.

Грунтові води за хімічним складом відносяться до сульфатного кальцієвого типу, з мінералізацією 3,1 г/л.

## 2 РОЗРАХУНКИ ГЕОФІЛЬТРАЦІЇ ТА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОГО ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ

### 2.1 Процедура розрахунку геофільтрації на ділянці породного відвалу

Розрахунки геофільтрації на ділянці плоского породного відвалу виконані із використанням реалізованої в програмному комплексі *Phase2* чисельної моделі профільної двовимірної фільтрації підземних вод постійної щільності в пористому середовищі, яка у загальному випадку описується диференціальним рівнянням в часткових похідних вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = \frac{\partial \theta}{\partial t}, \quad (2.1)$$

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.

Рівняння (2.1) показує, що різниця між витратою потоку, який надходить до елементарного об'єму і залишає його в кожен момент часу, дорівнює зміні ємності ґрунтової системи. Іншими словами, воно показує, що сума швидкостей зміни витрати потоку в напрямку координат  $X$  і  $Y$  і прикладеного ззовні 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, тому права частина рівняння обертається в нуль і рівняння (2.1) зводиться до вигляду:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = 0. \quad (2.2)$$

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



За умови дії постійного повного напруження, а також постійного тиску повітря під час нестационарних процесів,  $(\sigma - u_a)$  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:

$$\partial\theta = m_w \partial u_w, \quad (2.3)$$

де  $m_w$  – ухил кривої ємності.

Повний гідравлічний напір  $H$  визначається як:

$$H = \frac{u_w}{\gamma_w} + y, \quad (2.4)$$

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

Рівняння (2.4) можна представити у наступному вигляді:

$$u_w = \gamma_w (H - y). \quad (2.5)$$

Підставляючи рівняння (2.4) у формулу (2.3), можна отримати рівняння:

$$\partial\theta = m_w \gamma_w \partial(H - y), \quad (2.6)$$

яке можна підставити у рівняння (2.1), що приводить до наступного виразу:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial(H - y)}{\partial t}. \quad (2.7)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t}. \quad (2.8)$$

Застосовуючи метод зважених нев'язок Гальоркіна до основного диференціального рівняння (2.8) можна отримати кінцево-елементний вираз для опису двовимірної фільтрації у вигляді:

$$\tau \int_A ([B]^T [C] [B]) dA \{H\} + \tau \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA \{H\}, \quad t = q \tau \int_L (\langle N \rangle^T) dL \quad (2.9)$$

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;  $\lambda$  – ємнісний 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:

$$[K]\{H\} + [M]\{H\}, \quad t = \{Q\}, \quad (2.10)$$

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

Рівняння (2.10) 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 (2.10) спрощується до вигляду

$$[K]\{H\} = \{Q\}, \quad (2.11)$$

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

Для оцінки матриці властивостей  $[K]$  і матриці мас елемента  $[M]$  використовується чисельне інтегрування Гауса. Інтегралі оцінюються шляхом дискретизації властивостей елементів у конкретно визначених точках, а потім підсумовуються для всього елемента.

Як приклад, використовуючи матрицю властивостей, наступний інтеграл:

$$[K] = \tau \int_A ([B]^T [C] [B]) dA, \quad (2.12)$$

можна замінити на:

$$[K] = \tau \sum_{j=1}^n [B_j]^T [C_j] [B_j] \det |J_j| W_{1j} W_{2j}, \quad (2.13)$$

де  $j$  – точка інтегрування;  $n$  – кількість точок інтегрування;  $[C_j]$  – матриця гідрравлічних 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 гідрравлічних провідностей елемента має вигляд:

$$[C] = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{bmatrix}, \quad (2.14)$$

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 гідрравлічної провідності в напрямку осей  $X$  і  $Y$  і кут між ними.

Коли  $\alpha$  дорівнює нулю, матриця (2.14) зводиться до вигляду:

$$[C] = \begin{bmatrix} k_x & 0 \\ 0 & k_y \end{bmatrix}. \quad (2.15)$$

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

$$k_y = k_x \times k_{Ratio}. \quad (2.16)$$

Матриця мас елемента, яка входить до виразу (2.10), у двовимірному аналізі визначається як:

$$[M] = \tau \int_A (\lambda \langle N \rangle^T \langle N \rangle) dA. \quad (2.17)$$

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

$$[M] = \tau \sum_{j=1}^n \lambda_j \langle N \rangle^T \langle N \rangle \det |J_j| W_{1j} W_{2j}. \quad (2.18)$$

Вектор граничних вузлових витрат потоку для двовимірного аналізу ви-  
значається як:

$$\{Q\} = q \tau \int_L \langle N \rangle^T dL, \quad (2.19)$$

а для планової задачі

$$\{Q\} = q \int_A \langle N \rangle^T \langle N \rangle dA, \quad (2.20)$$

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

У якості гідродинамічних границь можуть використовуватись як величини заданих гідравлічних напорів ( $H$ ) в граничних вузлах, так і 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.

## 2.2 Процедура розрахунку гідрогеомеханічної стійкості породного відвалу

Для оцінки гідрогеомеханічної стійкості породного відвалу застосована реалізована у програмному комплексі *Phase2* деформаційна пружно-пластична модель середовища з внутрішнім тертям, яка поєднує дві теорії, на яких базується сучасна механіка гірських порід: теорію пружності і теорію граничного стану.

Процедура чисельного рішення в методі кінцевих елементів заснована на передумові силової взаємодії між елементами модельованої області тільки у ву-

злових точках. При цьому умова безперервності середовища задовольняється нерозривністю вузлових зв'язків між елементами.

Деформування елементів обумовлене прикладанням з боку сусідніх елементів чи зовнішніх впливів вузлових сил  $F_i, F_j, F_k$ , кожна з яких розкладається на дві складові уздовж координатних осей. Залежність шести компонентів вузлових сил від шести компонентів вузлових переміщень встановлена виходячи з відомого в будівельній механіці принципу можливих переміщень: при нескінченно малому переміщенні вузлових точок робота вузлових сил повинна дорівнювати роботі внутрішніх напружень.

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

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

$$[K]\{a\} = \{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\}, \quad (2.21)$$

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

Матриця жорсткості визначається наступним чином:

$$[K] = \int_v [B]^T [C] \cdot [B] dv, \quad (2.22)$$

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

Вектор деформацій визначається з наступного виразу:

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad (2.23)$$

де  $u, v$  – вузлові переміщення в напрямках осей  $X$  і  $Y$  відповідно.

Вектор деформації також визначається складовими:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (2.24)$$

Для завдання плоскої деформації  $\varepsilon_z$  дорівнює нулю, і матриця деформацій має вигляд:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \end{bmatrix}. \quad (2.25)$$

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

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \quad (2.26)$$

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

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (2.27)$$

де  $E$  – модуль Юнга (модуль пружності);  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона.

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

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (2.28)$$

В результаті перетворення формул (2.27) і (2.28) отримуємо формулу для визначення напружень і деформацій:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (2.29)$$

Врахування граничного стану модельованого масиву гірських порід і реалізація пластичної течії в області поза межних деформацій у чисельній моделі базується на методі початкових напружень, який полягає в наступному.

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

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

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= E_n (\varepsilon_1 + \nu_n \varepsilon_3) / (1 - \nu_n^2) \\ \sigma_3 &= E_n (\varepsilon_3 + \nu_n \varepsilon_1) / (1 - \nu_n^2) \end{aligned} \quad (2.30)$$

де  $\sigma_1$  і  $\sigma_3$  – відповідно найбільше і найменше головні напруження;

$E_n = E / (1 - \nu^2)$ ,  $\nu_n = \nu(1 - \nu)$  – «плоскі» аналоги відповідно модуля деформації  $E$  і коефіцієнта Пуассона  $\nu$ .

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

$$\sigma_3 = T, \quad (2.31)$$

а в області стискання – критерієм Кулона-Мора:

$$\sigma_1 = S + \sigma_3 \operatorname{Ctg} \varphi, \quad (2.32)$$

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

При виході деформованого стану елемента середовища на границю зони пружності напруження в елементі контролюються рівняннями стану, що на ділянці поза межних деформацій встановлені щодо головних напружень  $\sigma_1^T$  і

$\sigma_3^T$ :

$$\sigma_3^T = [E_n(\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + S(\nu_n - 1)] / (1 - \nu_n \text{Ctg}\beta + \text{Ctg}\beta - \nu_n), \quad (2.33)$$

$$\sigma_1^T = S + \text{Ctg}\psi \sigma_3^T. \quad (2.34)$$

Кут  $\beta$  у рівнянні (2.33) визначає закон пластичної течії: при значенні  $\beta$ , встановленому для моделі рівним  $\psi$ , течія є асоційованою, що дозволяє врахувати розущільнення порід в області поза межних деформацій.

Величини головних напружень  $\sigma_1^T$  і  $\sigma_3^T$  представляють собою відповідні досягнутому рівню деформацій теоретичні напруження, до яких прагне чисельне рішення на  $i$ -ому кроці ітераційного процесу.

Крім того, в моделі передбачена можливість дослідження областей розривів, які фіксуються на ділянках деформацій розтягнення за умовою (2.33).

Реалізований в програмному комплексі *Phase2* спільно з методом кінцевих елементів метод зниження параметрів міцності при оцінці запасу стійкості породного масиву забезпечує можливість одночасного визначення положення поверхні ковзання і коефіцієнта стійкості при відсутності будь-яких обмежень щодо геометрії механізму руйнування.

Згідно методу, що використовується, розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості знаходиться з відношення максимально можливої міцності ґрунту до мінімального значення, необхідного для забезпечення рівноваги

$$k_s = \frac{\tau_{гран}}{\tau_{діюч}}. \quad (2.35)$$

При поданні формули (2.35) у вигляді стандартної умови Кулона-Мора вона набуває вигляду:

$$k_s = \frac{\sigma_n \cdot \text{tg}\varphi + C}{\sigma_n \cdot \text{tg}\varphi_r + C_r}, \quad (2.36)$$

де  $C$  і  $\varphi$  – вихідні параметри міцності – відповідно питоме зчеплення і кут внутрішнього тертя;  $\sigma_n$  – фактичне нормальне напруження;  $C_r$  і  $\varphi_r$  – параметри міцності, знижені в ході розрахунку до мінімальних значень, достатніх для підтримки рівноваги.



При цьому в умовах дії порового тиску розрахунок зсувної міцності ґрунту  $\tau_r$  проводиться з використанням критерію міцності Кулона-Мора, поданого у вигляді:

$$\tau_r = (\sigma_n - u)tg\varphi + C, \quad (2.37)$$

де  $u$  – поровий тиск.

Метод зниження міцності за принципом розрахунку схожий з методом Р.Р. Чугаєва, відомим в гідротехнічному будівництві. У розрахунковій схемі прогноз руйнування здійснюється шляхом одночасного зниження обох показників зсувної міцності:

$$C_r = \frac{C}{k}, \quad (2.38)$$

$$\varphi_r = \frac{\varphi}{k}, \quad (2.39)$$

де  $k$  – коефіцієнт зниження міцності, відповідний коефіцієнту стійкості в момент руйнування.

Перевагою використання методу зниження міцності є його єдність з іншими можливостями чисельного моделювання, що дозволяє прийняти до уваги занурену частину укосів при розрахунку стійкості на слабких (стисливих) ґрунтах з урахуванням процесів консолідації основи і його зміцнення, а також виконувати розрахунок стійкості з урахуванням надлишкового порового тиску, що формує «відпір» в центральній частині укосів і сприяє зниженню їх стійкості.

### 2.3 Розрахункова схематизація та методика розрахунків

Варіант проекту передбачає комірчасту структуру конструкції відвалу з ярусами висотою 4 м, що складаються з осередків дрібної породи (кеку), обмежених бортами з ущільненої крупної породи (поперечним перетином як трапеції). Поверх кожного ярусу кека передбачено виконання проміжного покриваючого шару ущільненої породи товщиною 1 м

Перевірка гідрогеомеханічної стійкості зовнішніх укосів породного відвалу проведена відповідно до прийнятих будови і конфігурації породних укосів для характерних профілів 1-1, 2-2, 3-3.

Оцінка стійкості плоского породного відвала для спільного складування крупної і дрібної породи виконана за результатами моделювання гідрогеомеханічного стану породного масиву відповідно до даних про геолого-гідрогеологічну будову ділянки будівництва, фізико-механічні і водні властивості відвальних порід і ґрунтів основи, особливостей гідродинамічних процесів в тілі відвала і його основи, даних про об'єми і технологію складування порід у відвалі.

Критерієм забезпечення стійкості укосів проектного породного відвалу було виконання для найнебезпечнішої призми зсуву нерівності:

$$\gamma_{fc} F \leq \frac{1}{\gamma_n} \left( R \frac{\gamma_c}{\gamma_{m(g)}} \right), \quad (2.40)$$

де  $\gamma_n$ ,  $\gamma_{fc}$ ,  $\gamma_c$ ,  $\gamma_{m(g)}$  – коефіцієнти, відповідно, надійності за відповідальністю, сполучення навантажень, умов роботи, надійності за матеріалами або ґрунтами;  $R$  – узагальнене розрахункове значення сил (або їх моментів) граничного опору зсуву по поверхні, що розглядається;  $F$  – узагальнене розрахункове значення активних сил (або моментів цих сил) відносно центра поверхні ковзання.

При пошуку небезпечної поверхні зсуву використана залежність для коефіцієнту стійкості (коефіцієнту запасу стійкості)

$$k_s = \frac{R}{F}, \quad (2.41)$$

звідки умова (2.40) може бути записана як

$$k_s \geq [k_s] \quad (2.42)$$

де  $k_s \geq [k_s]$  – допустиме (нормоване) значення коефіцієнта стійкості:

$$[k_s] = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc} \cdot \gamma_{m(g)}}{\gamma_c}. \quad (2.43)$$

Відповідно до класу (підкласу) відповідальності **СС2**, до якого віднесено проєктований відвал, для періоду експлуатації при основному сполученні нава-

нтажень для категорії відповідальності конструкції та її елементів А значення нормованого коефіцієнту надійності згідно з ДБН-В.1.2-14-2018 [17] становить  $\gamma_n = 1,100$  (табл. 2.1).

У відповідності до основного поєднання навантажень ( $\gamma_{fc} = 1,0$ ) під час застосування розрахункових значень властивостей ґрунтів (значення коефіцієнта надійності за ґрунтами при застосуванні розрахункових значень фізико-механічних характеристик приймається рівним  $\gamma_{m(g)} = 1,0$ ) і коефіцієнті умов роботи  $\gamma_c = 1,0$ , допустиме нормоване значення коефіцієнта стійкості для основного поєднання навантажень становить  $[k_s] = 1,100$ .

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів надійності за відповідальністю Гідротехнічних споруд для різних класів наслідків (відповідальності) споруд (ДБН-В.1.2-14-2018 [17], табл. 5)

Клас наслідків (відповідальності)	Категорія відповідальності конструкції	Значення $\gamma_n$ , які використовуються в розрахункових ситуаціях				
		усталених		перехідних		аварійних
		перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів	друга група граничних станів	перша група граничних станів
СС3	А	1,250	1,000	1,150	0,975	1,050
	Б	1,200		1,000		
	В	1,150		0,950		
СС2	А	<b>1,100</b>	0,975	0,975	0,950	0,975
	Б	1,050		0,950		
	В	1,000		0,925		
СС1	А	1,000	0,950	0,950	0,925	0,950
	Б	0,975		0,925		
	В	0,950		0,900		

З урахуванням можливих змін гідравлічних і геомеханічних полів у тілі відвалу, пов'язаних з формуванням зон різного ступеня водонасичення, а також часовими змінами фізико-механічних і фільтраційних властивостей порід відвалу та ґрунтів основи, в якості критерію, що забезпечує необхідний запас стійкості, прийнято значення коефіцієнта стійкості, рівне  $[k_s] = 1,20$ .

До особливостей проектного породного відвалу відноситься його формування на похилій основі з ухилом поверхні рельєфу в південно-західному напрямку в межах абсолютних відміток 156,0 ... 240,0 м.

Розміри модельованих профілів 1-1, 2-2 і 3-3 визначені за умови мінімізації впливу їх контурів на напружено-деформований стан ґрунтового масиву і охоплюють ділянки відповідно протяжністю 914,0, 1233,0 і 352,0 м.

Для забезпечення просторової визначеності модельованих масивів на бічних границях розрахункових профілів задавались нульові горизонтальні переміщення, а на їх нижньому контурі – нульові горизонтальні і вертикальні переміщення. Силова взаємодія між елементами моделі визначалася гравітаційними (об'ємними) силами в ґрунтовій товщі.

У загальному вигляді чисельні моделі в межах оцінюваних профілів представлені трикутними шестивузловими кінцевими елементами 8 типів відповідно до геолого-літологічного складу та властивостей ґрунтів основи, матеріалу дамб обвалування та їх конструктивних елементів, а також складованих до відвалу відходів вуглезбагачення.

Для полегшення розрахунку для профілів 1-1 і 2-2 було проведено схематизацію фізико-механічних та фільтраційних властивостей відвальних порід. А саме дрібної породи (кек) та крупної породи (розділяючі шари).

Використані в розрахунках значення фільтраційних параметрів встановлені за результатами дослідно-фільтраційних досліджень і даними лабораторних визначень з урахуванням характерних різниць величин гідравлічної проникності, що моделюються [22].

Оцінюючи фільтраційної провідності кусково-неоднорідної товщі породного масиву до розгляду прийнято наявні дані про фільтраційної проникності великої породи, і також дані лабораторних досліджень фільтраційних властивостей дрібної породи, виконаних для об'єктів аналогів [22,23,24,26].

Згідно з даними інженерно-геологічних досліджень на об'єктах аналогах, значення коефіцієнта фільтрації великої породи характеризуються значенням в  $1,16 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$ .

Значення коефіцієнта фільтрації дрібної породи, встановлені за даними лабораторних досліджень [22,23,24,26], змінюються в межах  $2,91 \dots 1,50 \cdot 10^{-9}$  м/с для діапазону навантажень  $0 \dots 200$ ,  $200 \dots 400$ ,  $400 \dots 600$ ,  $600 \dots 800$  кПа, становлячи відповідно:

- при  $0 \dots 200$  кПа –  $2,91 \cdot 10^{-9}$  м/с ,
- при  $200 \dots 400$  кПа –  $2,44 \cdot 10^{-9}$  м/с ,
- при  $400 \dots 600$  кПа –  $1,97 \cdot 10^{-9}$  м/с ,
- при  $600 \dots 800$  кПа –  $1,50 \cdot 10^{-9}$  м/с .

З урахуванням прийнятих до розрахунку величин гідравлічної проникності великої та дрібної породи середньою сумарною потужністю відповідно 2,0 і 2,0 м у межах одного ярусу заввишки 4,0 м значення коефіцієнта фільтрації шматково-неоднорідної товщі паралельно напластуванню (в горизонтальній площині) отримано з виразу [7]:

$$K_{x,y} = \frac{K_k m_k + K_m m_m}{m_k + m_m}, \quad (2.44)$$

де  $K_k$ ,  $K_m$  і  $m_k$ ,  $m_m$  – коефіцієнти фільтрації (м/с) та середні сумарні потужності розрахункових шарів (м) відповідно великої та дрібної породи у межах ярусу породного відвалу.

Відповідно до формули (2.44) коефіцієнти фільтрації порочної товщі паралельно напластуванню дорівнюють:

$$K_{x,y0-200} = \frac{2,0 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 2,91 \cdot 10^{-9}}{2,0 + 2,0} = 5,81 \cdot 10^{-7}, \text{ м/с,}$$

$$K_{x,y200-400} = \frac{2,0 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 2,44 \cdot 10^{-9}}{2,0 + 2,0} = 5,81 \cdot 10^{-7}, \text{ м/с,}$$

$$K_{x,y400-600} = \frac{2,0 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 1,97 \cdot 10^{-9}}{2,0 + 2,0} = 5,80 \cdot 10^{-7}, \text{ м/с,}$$

$$K_{x,y600-800} = \frac{2,0 \cdot 1,16 \cdot 10^{-6} + 2,0 \cdot 1,50 \cdot 10^{-9}}{2,0 + 2,0} = 5,80 \cdot 10^{-7}, \text{ м/с.}$$

Для характеристики вертикальної проникності кусково-неоднорідної товщі, представленій перешаруванням великої та дрібної породи в межах кож-

ного ярусу породного масиву, значення коефіцієнта фільтрації встановлено із співвідношення [7]:

$$K_z = \frac{m_k + m_M}{\frac{m_k}{K_k} + \frac{m_M}{K_M}}, \quad (2.45)$$

де  $K_z$  – коефіцієнт фільтрації породного матеріалу нормально напластуванню, м/с.

Відповідно до формули (2.45) вертикальні коефіцієнти фільтрації породої товщі дорівнюють:

$$K_{z0-200} = \frac{2,0 + 2,0}{\frac{2,0}{1,16 \cdot 10^{-6}} + \frac{2,0}{2,91 \cdot 10^{-9}}} = 5,80 \cdot 10^{-9}, \text{ м/с,}$$

$$K_{z200-400} = \frac{2,0 + 2,0}{\frac{2,0}{1,16 \cdot 10^{-6}} + \frac{2,0}{2,44 \cdot 10^{-9}}} = 4,87 \cdot 10^{-9}, \text{ м/с,}$$

$$K_{z400-600} = \frac{2,0 + 2,0}{\frac{2,0}{1,16 \cdot 10^{-6}} + \frac{2,0}{1,97 \cdot 10^{-9}}} = 3,93 \cdot 10^{-9}, \text{ м/с,}$$

$$K_{z600-800} = \frac{2,0 + 2,0}{\frac{2,0}{1,16 \cdot 10^{-6}} + \frac{2,0}{1,5 \cdot 10^{-9}}} = 2,99 \cdot 10^{-9}, \text{ м/с.}$$

Встановлені таким чином значення гідравлічної проникності породного матеріалу прийняті як розрахункові в моделюванні процесів геофільтрації на ділянці плоского породного відвалу і наведені в таблиці. 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункові фільтраційні характеристики відвальних порід і ґрунтів основи

Найменування	Коефіцієнт фільтрації, $K_f$ , м/с	Горизонтальний коефіцієнт Фільтрації за нашаруванням, м/с	Вертикальний коефіцієнт Фільтрації нормально нашаруванню, м/с
Крупна порода (розділяючі шари)	$1,16 \cdot 10^{-5}$	-	-
Дрібна порода 1 (0...200 кПа)	$2,91 \cdot 10^{-9}$	-	-
Дрібна порода 2 (200...400 кПа)	$2,44 \cdot 10^{-9}$	-	-
Дрібна порода 3 (400...600 кПа)	$1,97 \cdot 10^{-9}$	-	-
Дрібна порода 4 (600...800 кПа)	$1,50 \cdot 10^{-9}$	-	-
Кек+порода шарами 1м. на глибині 16м. (0-200 кПа)	-	$5,81 \cdot 10^{-7}$	$5,80 \cdot 10^{-9}$
Кек+порода шарами 1м. на глибині 32 м. (200-400 кПа)	-	$5,81 \cdot 10^{-7}$	$4,87 \cdot 10^{-9}$
Кек+порода шарами 1м. на глибині 48 м. (400-600 кПа)	-	$5,80 \cdot 10^{-7}$	$3,93 \cdot 10^{-9}$
Кек+порода шарами 1м. на глибині 68 м. (600-800 кПа)	-	$5,80 \cdot 10^{-7}$	$2,99 \cdot 10^{-9}$

Вплив гідравлічної складової на стійкість породного відвалу, який визначається наявністю і розмірами водонасиченої зони в основі відвалу, яка формується за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, що потрапляють на площу відвалу, оцінювалися за результатами профільного моделювання геофільтрації (МКЕ) в умовах стаціонарного режиму фільтрації.

Природне інфільтраційне живлення для поверхні ділянки в його природному стані [3,4] враховувалося в обсязі 2,5% від загальної кількості атмосферних опадів, рівної 522 мм/рік, і 10% – для поверхні породного відвалу в процесі його формування і після закінчення складування [7].

Основними параметрами, що визначають стан модельованого масиву і його поведінку в умовах пружно-пластичного деформування, є питома вага  $\gamma$ , модуль деформації  $E$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , питома зчеплення  $C$  і кут внут-

рішнього тертя  $\varphi$ , тобто набір характеристик, одержуваних при проведенні стандартного комплексу інженерно-геологічних вишукувань.

Характеристики фізико-механічних властивостей ґрунтів в основі породного відвалу, що використовуються в розрахунках, прийняті за даними лабораторних досліджень, виконаних в процесі інженерно-геологічних вишукувань на ділянці проєктованого плоского відвалу [28]. Фізико-механічні, деформаційні і характеристики міцності дрібної і крупної породи оцінені за даними лабораторних досліджень, виконаних для об'єктів-аналогів ПАТ «ДТЕК Октябрська ЦОФ», ПАТ «ДТЕК Добропільська ЦОФ» [22,23,24,26] та діючому відвалу ТОВ «Збагачувальна фабрика «Свято-Варваринська» [27].

Прийняті до розрахунку значення деформаційних характеристик і характеристик міцності дрібної породи, в силу значної залежності її показників від діючого тиску, встановлені за даними випробувань в умовах тривісного стиснення для діапазонів навантажень 0...200, 200...400, 400...600 і 600...800 кПа (див. табл. 2.4).







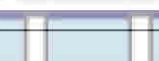
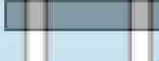
Фізико-механічні характеристики крупного породного матеріалу отримані за результатами пресіометричних випробувань.

Встановлені за результатами виконаних досліджень значення фізико-механічних і фільтраційних характеристик відвальних порід і ґрунтів основи наведені в таблиці 2.3

Розрахункові профілі 1-1, 2-2 згідно з будовою плоского породного відвала з наведених у текстових додатках А і Б на рис. Д.1.1 і Д.2.1, а їх гідродинамічна схематизація – відповідно на рис. Д.1.2 і Д.2.2



Таблиця 2.3 – Розрахункові фізико-механічні та фільтраційні характеристики відвальних порід і ґрунтів основи

Номер типу елементу	Найменування	Позначення в моделі	Питома вага, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Модуль деформації, $E$ , МПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$ , дол. од.	Питоме зчеплення, $C$ , кПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi$ , град	Горизонтальний коефіцієнт фільтрації, м/с	Вертикальний коефіцієнт фільтрації, м/с
1	Крупна порода (огороджувальні дамби)		18,63	26,3	0,30	14,22	30,0	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$
2	Крупна порода (розділяючі шари)		17,6	18,0	0,30	12,7	28,0	$1,16 \cdot 10^{-6}$	$1,16 \cdot 10^{-6}$
3	Кек+порода шари 1м. на глибині 16м. (0...200 кПа)		15,88	9,0	0,49	8,8	18,0	$5,81 \cdot 10^{-7}$	$5,80 \cdot 10^{-9}$
4	Кек+порода шари 1м. на глибині 32 м. (200...400 кПа)		16,18	18,5	0,48	10,8	20,0	$5,81 \cdot 10^{-7}$	$4,87 \cdot 10^{-9}$
5	Кек+порода шари 1м. на глибині 48 м. (400...600 кПа)		16,47	25,0	0,48	12,75	22,0	$5,80 \cdot 10^{-7}$	$3,93 \cdot 10^{-9}$
6	Кек+порода шари 1м. на глибині 68 м. (600...800 кПа)		16,7	25,0	0,48	14,7	24,0	$5,80 \cdot 10^{-7}$	$2,99 \cdot 10^{-9}$
7	Суглинок		19,23	15,0	0,35	26,0	22,0	$5,32 \cdot 10^{-7}$	$5,32 \cdot 10^{-7}$
8	Суглинок водонасичений		20,31	11,0	0,35	20,0	16,0	$5,32 \cdot 10^{-7}$	$5,32 \cdot 10^{-7}$

### 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКІВ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПЛОСКОГО ПОРОДНОГО ВІДВАЛУ

#### 3.1 Геофільтраційні розрахунки

За результатами моделювання встановлено, що характер геофільтрації в межах укосів при проектуваному нарощуванні плоского породного відвалу до відмітки 240,0 м і відмітці води 145,0 м визначається наявністю в його тілі слабо проникних відкладів, представлених складованими до породного відвалу дрібною і крупною породою, що підстеляються відносно слабо проникними відкладеннями суглинків в ґрунтовій основі породного відвалу.

Формування обводненої зони (техногенного горизонту) відбувається безпосередньо в породному масиві і в основі відвалу з розвантаженням по його контуру. Положення поверхні водонасиченої зони в межах породного масиву на кінцевий період його формування досягають абсолютних відміток 149,7... 154,4 м на укосах відвалу і 161,0...172,0 м в його центральній частині відповідно.

Дренування породного масиву забезпечується завдяки роботі розташованих в його межах лінійної дренажної системи пластового типу.

Розрахункове положення рівневих поверхонь води, встановлені за результатами чисельного моделювання для розрахункових профілів 1-1 і 2-2, наведено в текстових додатках А і Б – рис. Д.1.3 і та Д.2.3

#### 3.2 Розрахунки стійкості породного відвалу

Оцінка стійкості породного відвалу виконана для варіантів закладення укосів породного відвалу, геометричних розмірів і взаємного розташування елементів відвалу в межах профілів укосів, що формуються, деформаційними властивостями і властивостями міцності складованих до відвалу відходів вугле-

збагачення, підстилаючих їх різностей ґрунтової основи, а також положенням рівневої поверхні води в межах породного відвалу.

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що стійкість породного відвалу залежить від співвідношення в його схилах крупної і дрібної породи (кеку), визначається взаємним розташуванням в укосах породних дамб і осередків з дрібною породою, а також положенням останніх стосовно зовнішніх контурів укосів. При цьому розміри осередків з кеком, їх конфігурація і розташування за межами профілів укосів відвалу не створюють помітного впливу на стійкість породного відвалу.

Перевірка гідрогеомеханічної стійкості зовнішніх укосів породного відвалу проведена відповідно до прийнятих будови і конфігурації породних укосів для характерних профілів 1-1, 2-2.

Згідно з результатами розрахунків для прийнятої конфігурації породного відвалу заданий запас стійкості не нижче  $[k_s] = 1,20$  забезпечується в умовах трирівневої будови породного відвалу та закладенні укосів формованих породних ярусів – 1:2,0.

Забезпечення заданого рівня стійкості досягається при розміщенні осередків з кеком в укосах відвалу на відстані не менше 28,5 м від зовнішніх контурів укосів, ширині по основі внутрішніх породних дамб і осередків з кеком в укосах відвалу відповідно 24,0 і 36,0 м. Встановлені за даними розрахунків значення коефіцієнта запасу стійкості для заданої конфігурації укосів в умовах необводненого відвалу знаходяться в межах  $k_s = 1,35 \dots 1,40$  (табл. 3.1, текстові додатки А і Б, рис. Д.1.4 і Д.2.4).

Таблиця 3.1 – Розрахункові значення коефіцієнтів стійкості  $k_s$  (дол. од.), для перетинів зовнішніх укосів породного відвалу

Варіанти рішень	Профілі породного відвалу (перетину)			
	1-1	2-2	3-3	
	(1)	(1)	(1)	(2)
Необводнений відвал	1,40	1,35	-	-
Обводнений відвал	1,37	1,15	-	-
Дренажне водозниження	1,38	1,16	1,17	1,23

Зниження запасу стійкості укосів породного відвалу відбувається під час формування за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, що потрапляють на площу відвалу, і обводненої зони в основі відвалу.

При обводненні основи породного відвалу та досягнення поверхні водонасиченої зони відміток 149,7...154,4 м в укосах відвалу і 161,0...172,0 м в його центральній частині значення коефіцієнта запасу стійкості для оцінюваних профілів 1-1 і 2-2 складають відповідно  $k_s = 1,37$  і 1,15 (табл. 3.1, текстові додатки А і Б, рис. Д.1.5 і Д.2.5).

Для забезпечення необхідного рівня гідрогеомеханічної стійкості укосів породного відвалу і зниження фільтраційних втрат в ґрунтову основу необхідно закладення в основі відвалу системи лінійних дренажів пластового типу з щебеневого фільтруючого матеріалу. Робота дренажної системи ( $k_s = 1,16...1,38$  – див. табл. 3.1, текстові додатки А і Б, рис. Д.1.6 і Д.2.6) забезпечується при товщині фільтруючого матеріалу 1,0 м.

Для уточнення правильності виконаної схематизації фізико-механічних та фільтраційних умов відвальних порід побудовано детальний профіль 3-3(1) з урахуванням всіх геометричних розмірів елементів породного відвалу. Встановлене за даними розрахунків значення коефіцієнта запасу стійкості для заданої конфігурації укосу в умовах обводненого відвалу та роботі дренажної системи складає  $k_s = 1,17$ , що менше нормованого значення  $[k_s] = 1,20$ , встановленого згідно з вимогами ДБН В.2.4-3:2010 для споруд класу наслідків (відповідальності) СС2 (СС2-1) (табл. 3.1, текстові додатки В, рис. Д.3.1). Тобто роботи дренажної системи недостатньо для виконання вимог заданої стійкості.

Для збільшення стійкості породного відвалу необхідно змінити його конфігурацію (профіль 3-3(2)). Згідно з результатами розрахунків для прийнятої конфігурації породного відвалу заданий запас стійкості не нижче  $[k_s] = 1,20$  забезпечується, де висота першого рівня породного відвалу не повинна перевищувати висоти вісімнадцяти ярусів або 72,0 м, другий рівень на абсолютній відмітці 224,0 м зміщується на 83 м від бровки першого рівня відвалу. Встановлене за даними розрахунків значення коефіцієнта запасу стійкості для основно-

го сполучення навантажень складає  $k_s = 1,23$  (табл. 3.1, текстові додатки В, рис. Д.3.2).



## ВИСНОВКИ

За результатами аналізу інженерно-геологічних умов ділянки плоского породного відвалу ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА», а також виконаних розрахунків гідрогеомеханічної стійкості зовнішніх укосів плоского породного відвалу з використанням програмного комплексу *Phase2* встановлено наступне.

1. Формування обводненої зони (техногенного горизонту) відбувається безпосередньо в породному масиві в основі відвалу з розвантаженням по його контуру. Положення поверхні водонасиченої зони в межах породного масиву на кінцевий період його формування досягають абсолютних відміток 149,7... 154,4 м на укосах відвалу і 161,0...172,0 м в його центральній частині відповідно.

2. Для забезпечення необхідного зниження фільтраційних втрат в ґрунтового основу необхідно закладення в основі відвалу системи лінійних дренажів типу з щебеневого фільтруючого матеріалу. Робота дренажної системи для профілів 1-1 і 2-2 ( $k_s=1,38$  і  $1,16$  відповідно – див. табл. 3.1, текстові додатки А і Б, рис. Д.1.6 і Д.2.6) забезпечується при товщині фільтруючого матеріалу 1,0 м.

3. Для забезпечення несучої здатності укосів породного відвалу при його проектуваному нарощуванні до відмітки 240,0 м на рівні не нижче розрахункової для сполучення навантажень необхідною умовою крім забезпечення ефективної роботи дренажної системи в цілому є зміна його конфігурацію (профіль 3-3(2)). Згідно з результатами розрахунків для прийнятої конфігурації породного відвалу заданий запас стійкості не нижче  $[k_s] = 1,20$  (встановленого згідно з вимогами ДБН В.2.4-3:2010 для споруд класу наслідків (відповідальності) СС2 (СС2-1)) забезпечується, де висота першого рівня породного відвалу не повинна перевищувати висоти вісімнадцяти ярусів або 72,0 м, другий рівень на абсолютній відмітці 224,0 м зміщується на 83 м від бровки першого рівня відвалу. Встановлене за даними розрахунків значення коефіцієнта запасу стійкості для

основного сполучення навантажень складає  $k_s = 1,23$ , що перевищує нормованого значення (табл. 3.1, текстові додатки В, рис. Д.3.2).



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Опублікована

1. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян и др. – М.: Недра, 1977. – 271 с.
2. Гриневский С.О., Новоселова М.В. Закономерности формирования инфильтрационного питания подземных вод / Водные ресурсы. – 2010. – Т.37. – № 6 – С. 1-12.
3. Лившиц В.М., Белокопытова Н.А. и др. Методические рекомендации по моделированию на ЭВМ фильтрации подземных вод в слоистых толщах. – Днепропетровск: ДО ИМР, 1987.
4. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. – М.: Недра, 1988. – 228 с.
5. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. – М.: Недра, 1983.
6. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод (при освоении месторождений полезных ископаемых). – Л.: Недра, 1988. – 261 с. : ил.
7. 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).
8. Руководство по проектированию золоотвалов тепловых электрических станций / П 20-74, ВНИИГ. – Л.: Энергия, 1974. – 140 с.
9. Тимощук В.И. Закономерности геофильтрации в зоне гравитационно нагруженных участков хвостохранилищ и отвалов горных пород / В.И. Тимощук, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2012. – № 4 – С. 30-36.
10. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.



11. Duncan, J.M. (2000). Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. *J. Geotechnical & Geoenvironmental Engineering*, April, pp. 307-316.
12. Kinzelbach W. *Groundwater modeling*. – Amsterdam: Elsevier. – 1986. – 312 p.
13. 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.
14. Pande, G.N., Beer, G., & Williams, J.R., (1990), "Numerical Methods in Rock Mechanics", John Wiley and Sons, Ltd.
15. 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.
16. 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.
17. ДБН В.1.2 -14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. – К.: Мінрегіон, 2018. – 36 с.
18. ДБН-В.2.1-10:2018. Основи та фундаменти споруд. Основні положення. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 42 с.
19. ДСТУ-Н Б В.12.-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 32 с.
20. Литвинов С.О. Оцінка стійкості плоского породного відвалу для складування відходів вуглезбагачення // 77 студентська науково-технічна конференція «Тиждень студентської науки» НТУ«Дніпровська Політехніка» . – Дніпро, 2022.– С. 184-186.

## Фондова

21. Звіт про НДР «Определение свойств отходов углеобогащения филиала «Обогатительная фабрика» ЗАО «Донецксталь – металлургический завод», как материала для формирования породного отвала и оценка проектных решений в части его устойчивости». Раздел 2. Оценка проектных решений в части устойчивости принятой конструкции породного отвала / ДП «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ "ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ"». – Донецк, 2010 г. – 45 с.

22. Звіт про НДР «Разработка рекомендаций и технических решений по обеспечению устойчивости откосов плоского породного отвала для складирования нестандартных отходов углеобогащения (кека) ПАО "ДТЭК Октябрьская ЦОФ" (Участки №1, № 2, № 3)» / ДП «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ "ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ"». – Донецк, 2014 г.

23. Звіт про НДР «Разработка рекомендаций по устройству водоотвода из массива и с прилегающих участков проектируемого плоского отвала для складирования нестандартных отходов углеобогащения (кека) ПАО «ДТЭК Октябрьская ЦОФ» (участок 1)» (заключительный) / Дочернее предприятие «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ"». – Донецк, 2014.

24. Звіт про НДР «Рекомендации по повышению гидрогеомеханической устойчивости плоского породного отвала для складирования нестандартных отходов углеобогащения (кека) ПАТ «ДТЭК Октябрьская ЦОФ» (участок 1)» / ГВУЗ «НГУ». – Днепропетровск, 2014 г.

25. Звіт про НДР «Исследование механических свойств отходов флотационного углеобогащения (кека) в условиях объемного нагружения» / ГВУЗ «НГУ». – Днепропетровск, 2015 г.

26. Звіт про виконання робіт «Виконання спеціалізованих інженерно-геологічних досліджень (пресіометричні випробування ґрунтів) породного комплексу Октябрської ЦЗФ, ділянки № 1 та породного відвалу ПАТ «ДТЕК

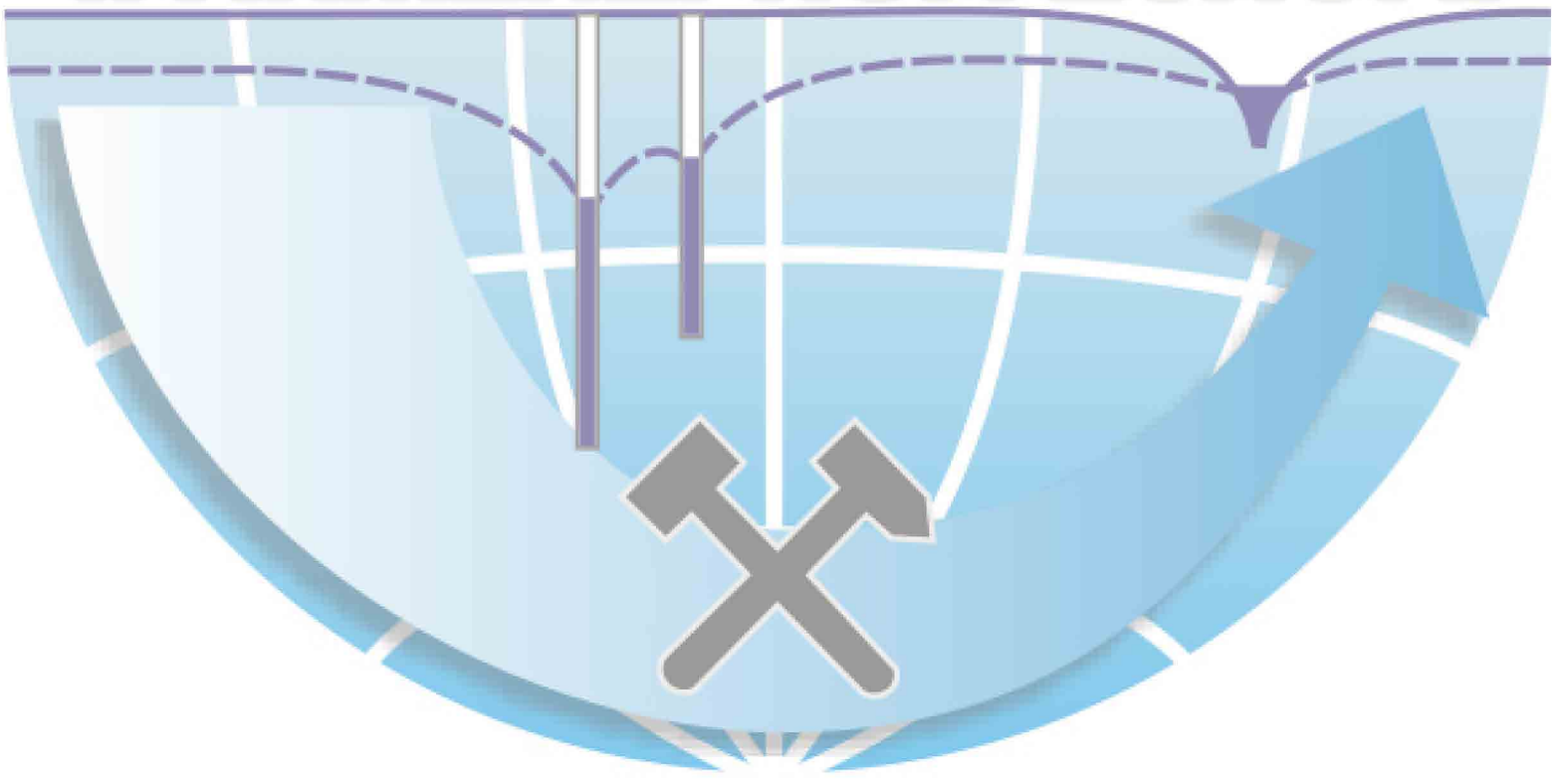
«Добропільська ЦЗФ», ЧП Научно-производственная фирма «СУПРЕМУМ ЕКО-С». – Днепропетровск, 2015.

27. Звіт про НДР «Научно-техническое сопровождение складирования отходов углеобогащения на породном отвале Филиала «Обогатительная фабрика «Свято-Варваринская» ПрАО «ДМЗ». Промежуточный результат / Дочернее предприятие «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ «ДОНЕЦКИЙ ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ». – Донецк, 2015. – 26 с.

28. Науково-технічний звіт з інженерно-геологічних вишукувань для виконання проекту «Реконструкція плоского породного відвалу ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА». РП / Приватне підприємство «УКОГЕОЛСЕРВІС». – Дніпро, 2021. – 27 с.

29. Науково-технічний звіт з інженерно-геологічних вишукувань для виконання проекту «Реконструкція плоского породного відвалу ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА» – Луганськ, 2012 – с. 6-10.

КАФЕДРА  
ПІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ





# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ

Додаток А – Профіль 1-1

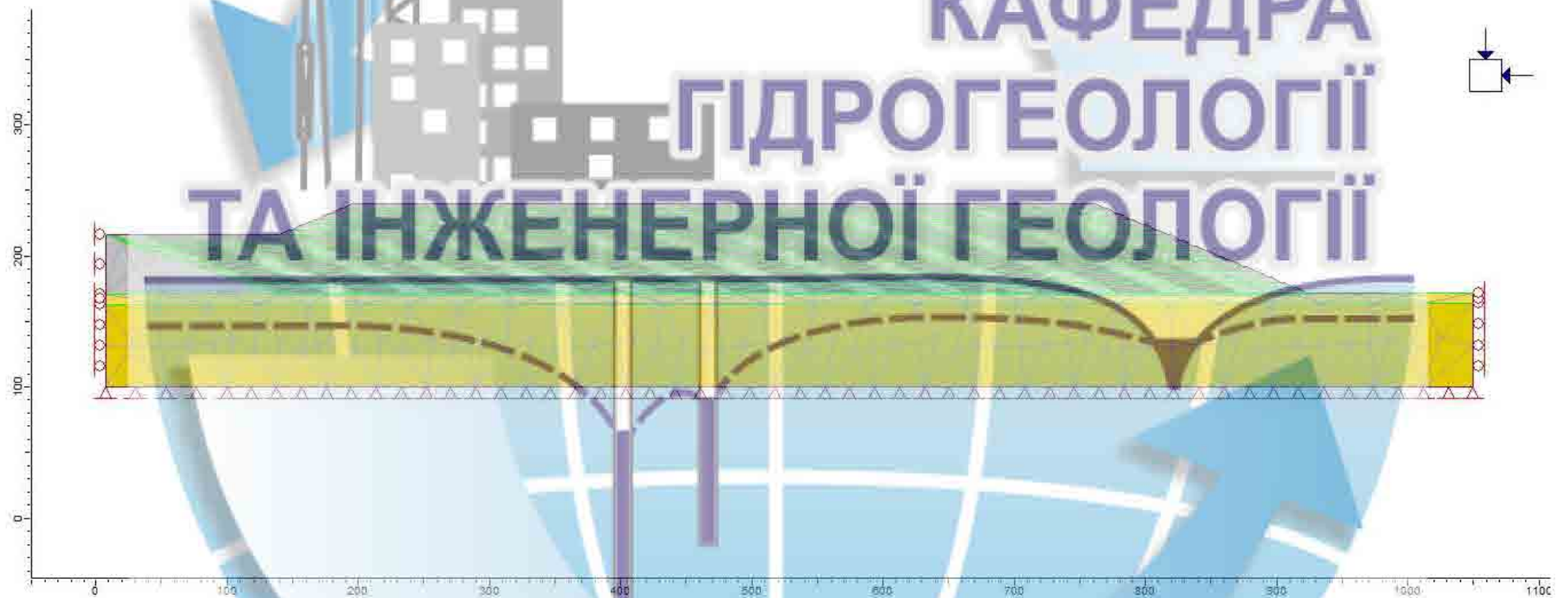


Рисунок Д.1.1 – Розрахункова кінцево-елементна дискретизація ділянки породного відвалу, Профіль 1-1



Продовження додатку А – Профіль 1-1



Рисунок Д.1.3 – Положення рівневої поверхні води в породному відвалі при роботі дренажної системи, Профіль 1-1

Продовження додатку А – Профіль 1-1

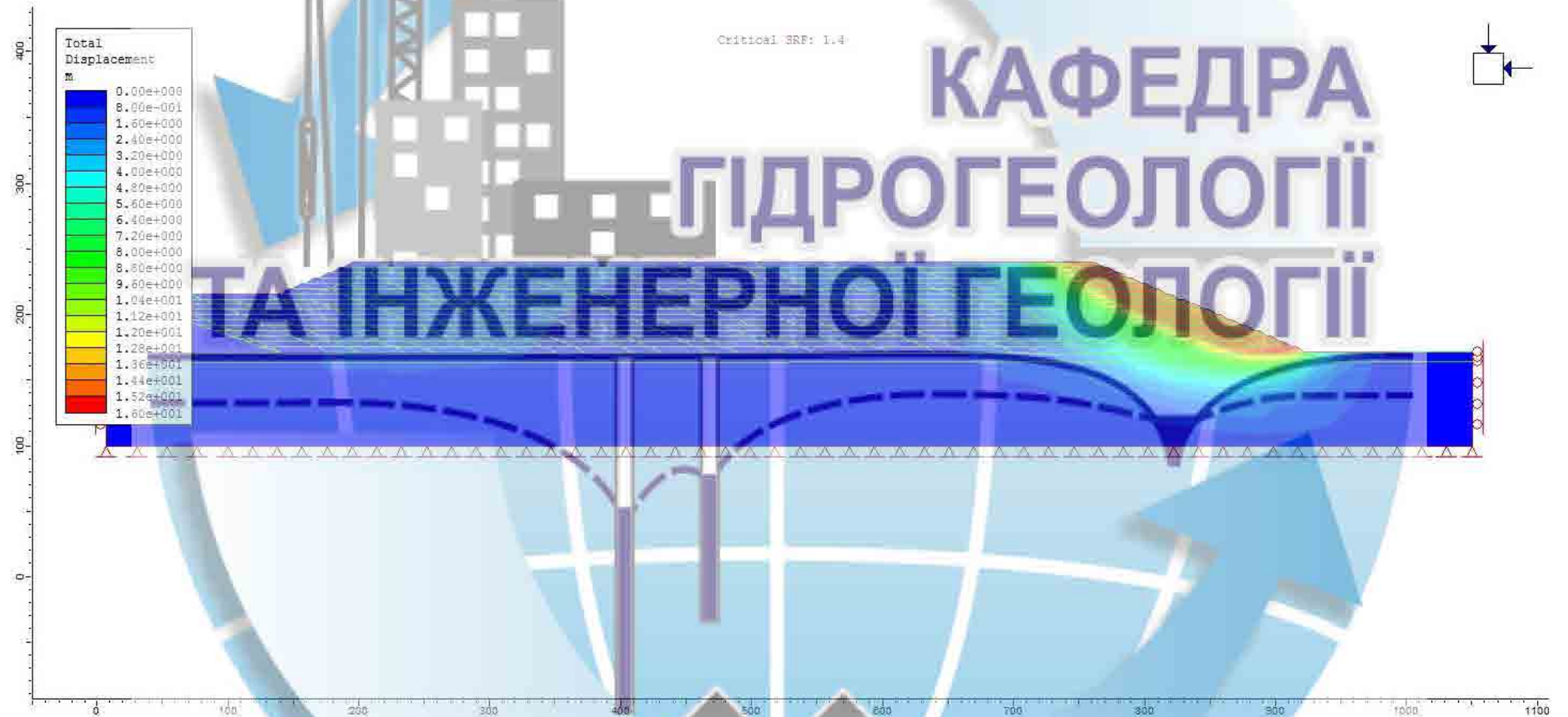


Рисунок Д.1.4 – Розрахунковий характер деформування необводненого породного відвалу, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,4$ , Профіль 1-1



Продовження додатку А – Профіль 1-1

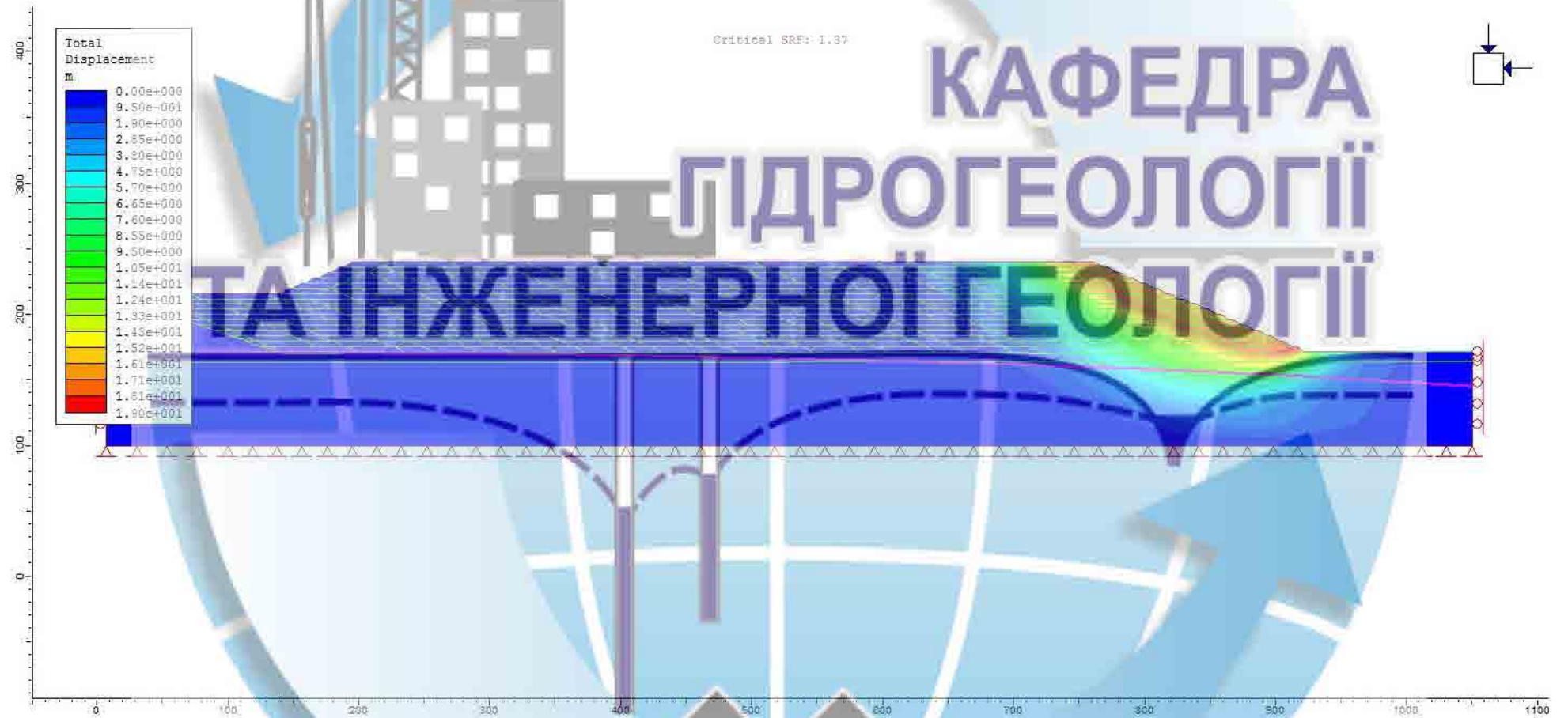


Рисунок Д.1.5 – Розрахунковий характер деформування обводненого породного відвалу, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,37$ , Профіль 1-1

Продовження додатку А – Профіль 1-1

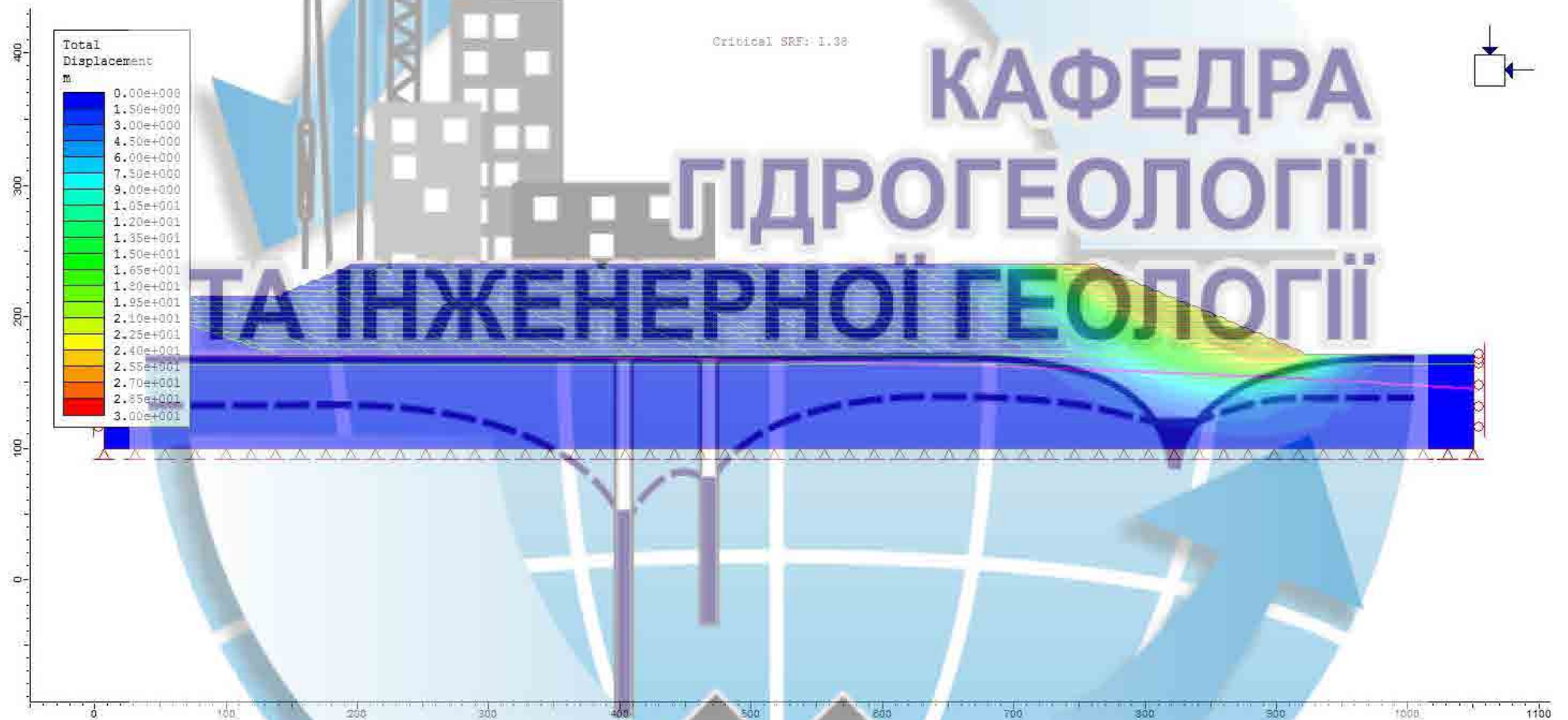


Рисунок Д.1.6 – Розрахунковий характер деформування породного відвалу при роботі дренажної системи, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,38$ , Профіль 1-1

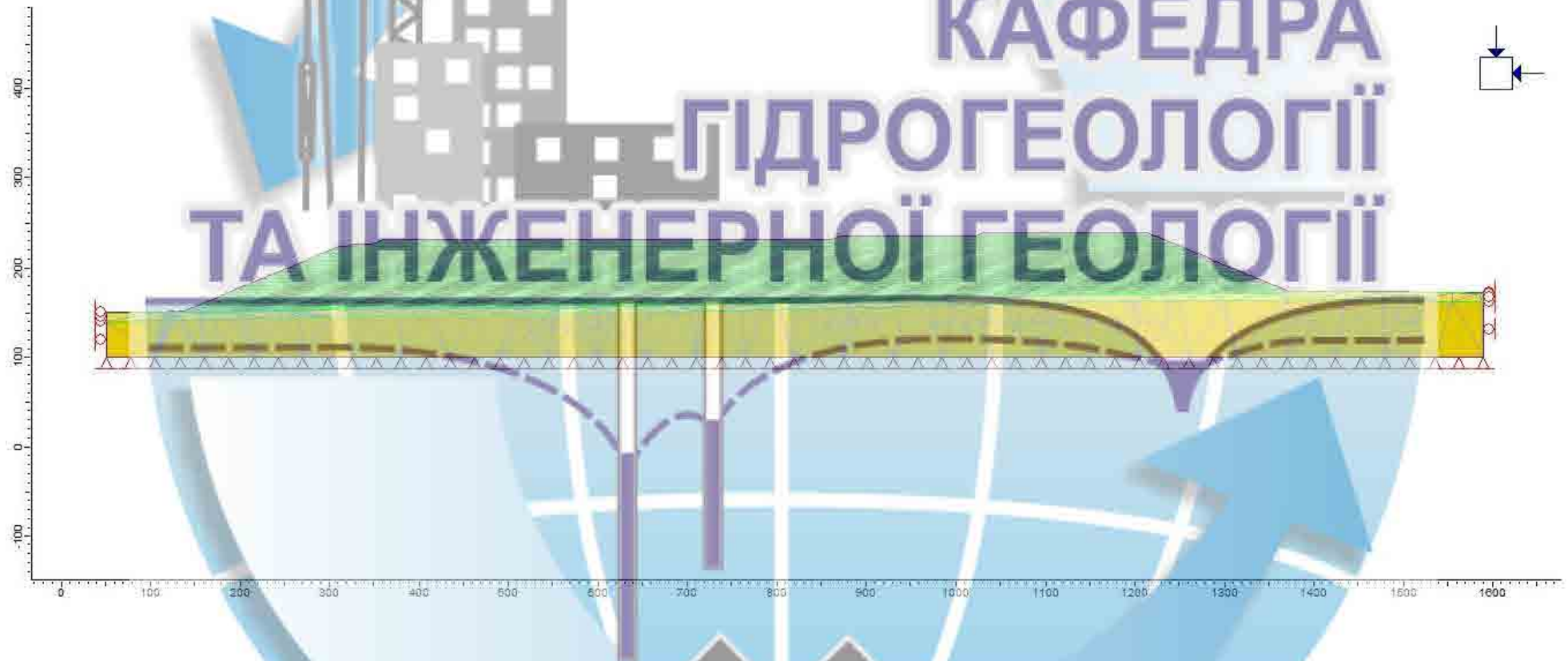


Рисунок Д.2.1 – Розрахункова кінцево-елементна дискретизація ділянки породного відвалу, Профіль 2-2

Продовження додатку Б – Профіль 2-2

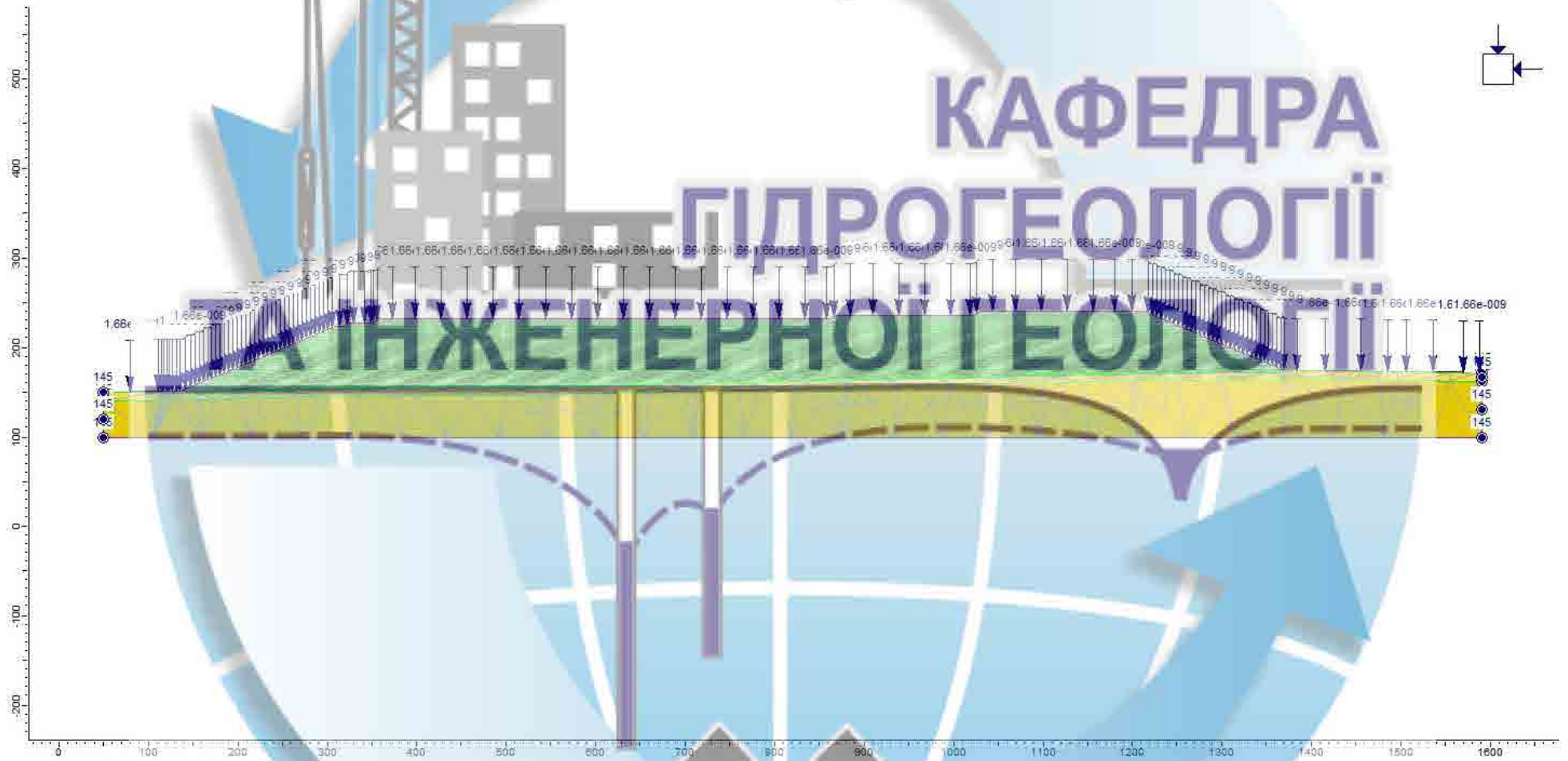


Рисунок Д.2.2 – Гідродинамічна схематизація ділянки породного відвалу, Профіль 2-2

Продовження додатку Б – Профіль 2-2

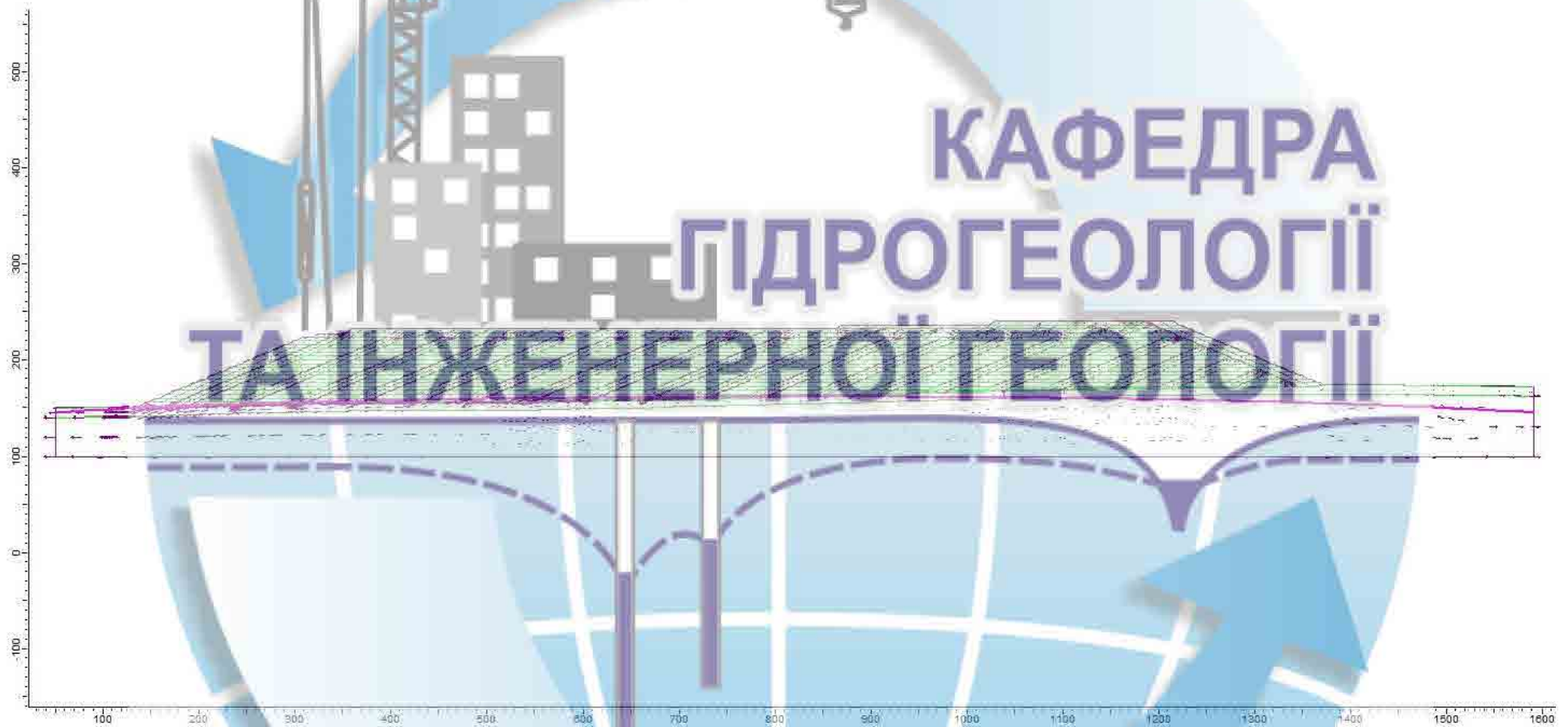


Рисунок Д.2.3 – Положення рівневої поверхні води в породному відвалі при роботі дренажної системи, Профіль 2-

2

Продовження додатку Б – Профіль 2-2

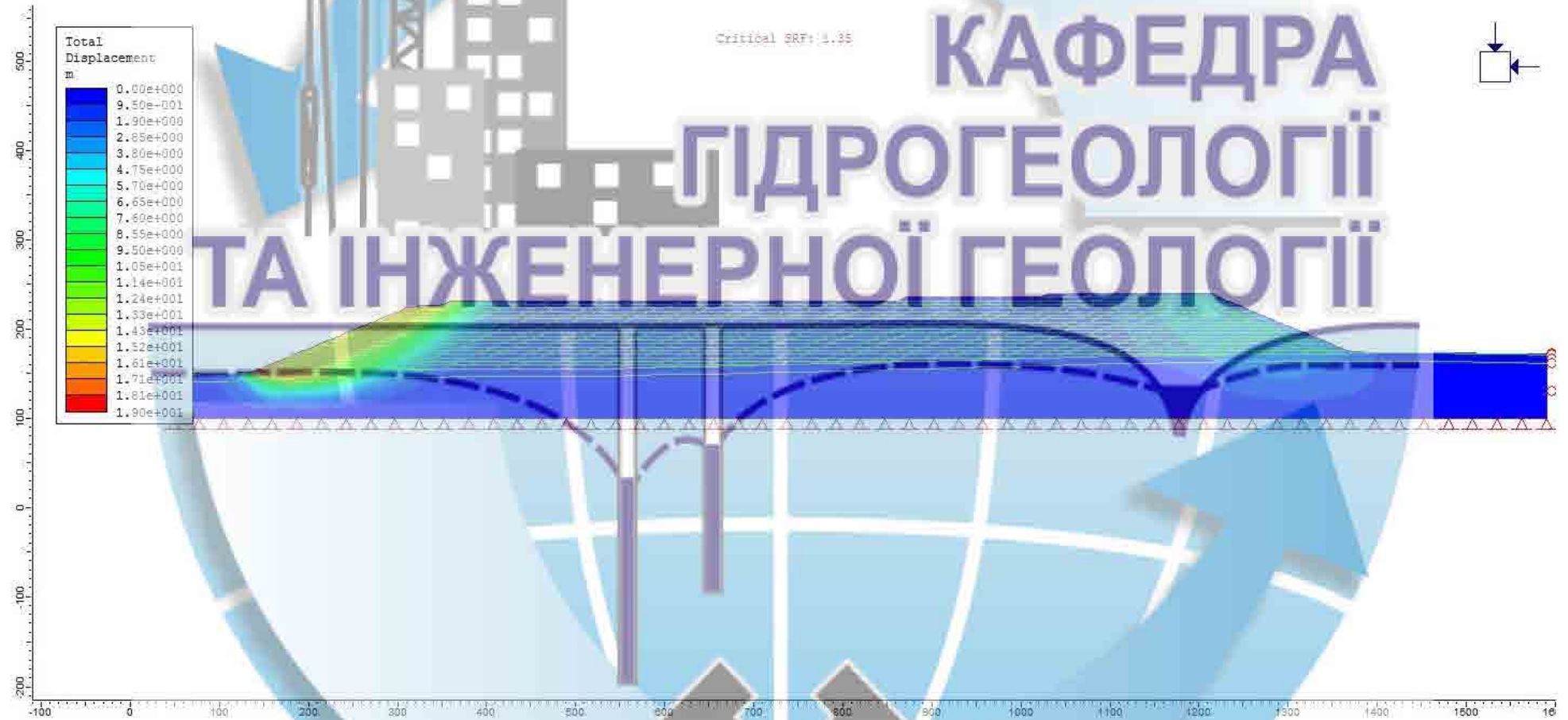


Рисунок Д.2.4 – Розрахунковий характер деформування необхідного породного відвалу, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,35$ , Профіль 2-2

Продовження додатку Б – Профіль 2-2

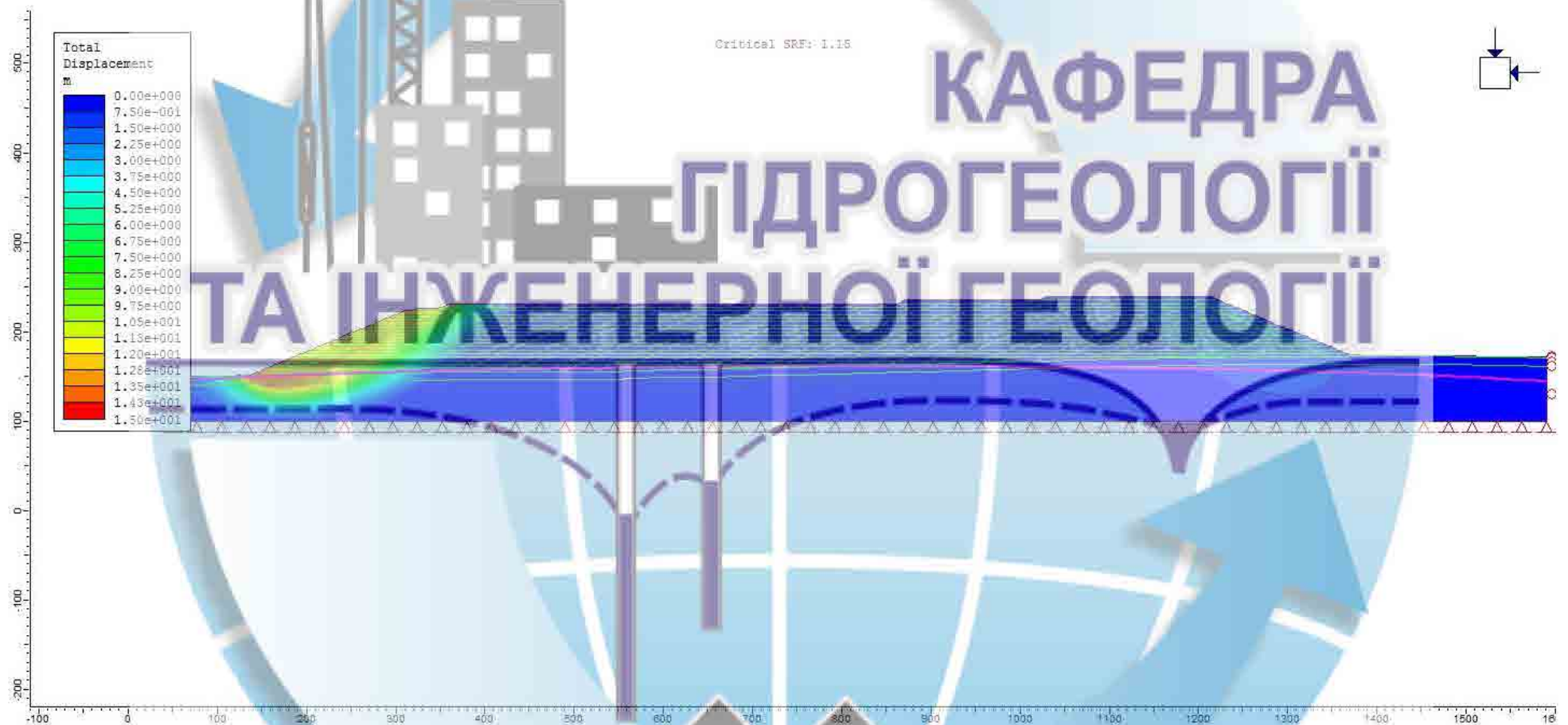


Рисунок Д.2.5 – Розрахунковий характер деформування обводненого породного відвалу, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,15$ , Профіль 2-2.

Продовження додатку Б – Профіль 2-2

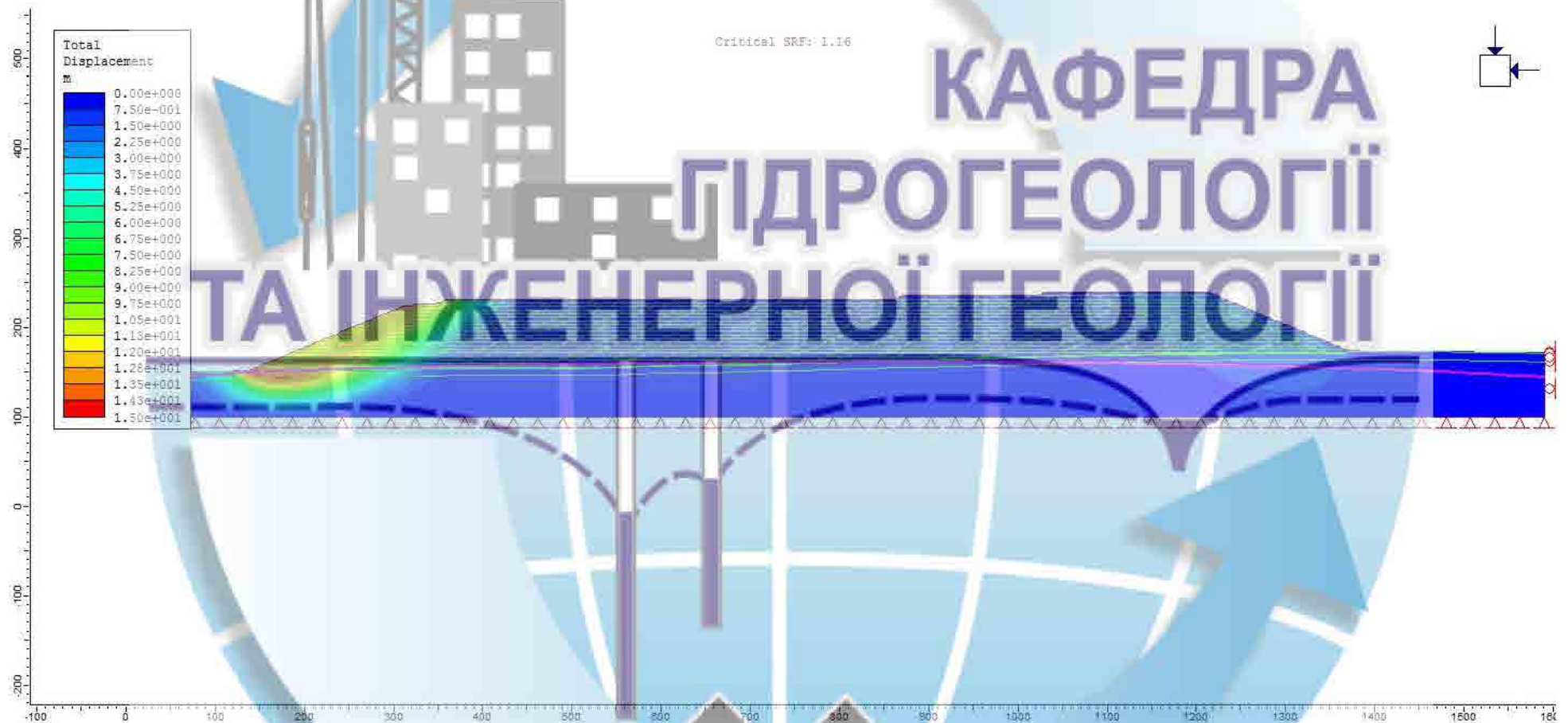


Рисунок Д.2.6 – Розрахунковий характер деформування породного відвалу при роботі дренажної системи, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,16$ , Профіль 2-2



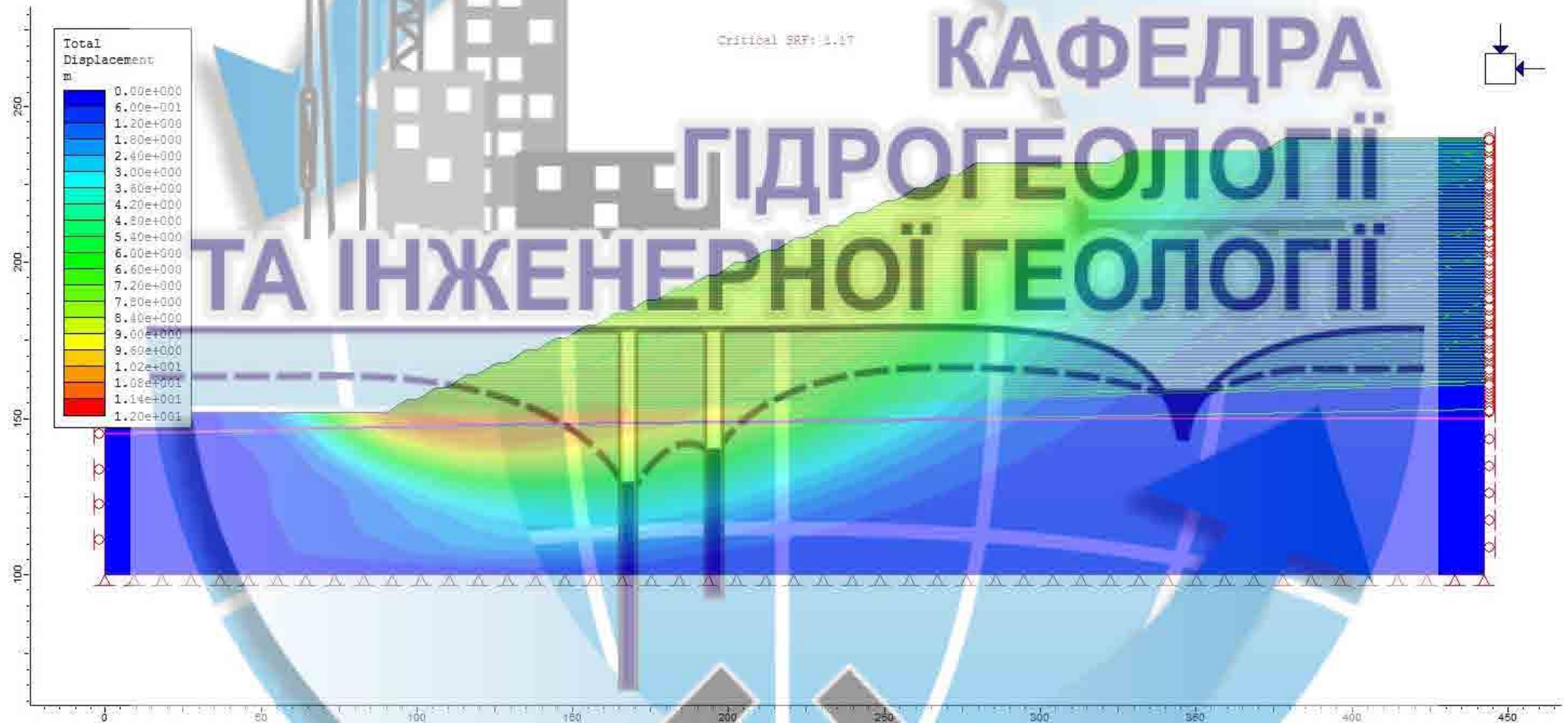


Рисунок Д.3.1 – Розрахунковий характер деформування породного відвалу при роботі дренажної системи, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,17$ , Профіль 3-3(1)

Продовження додатку В – Профіль 3-3(2)



Рисунок Д.3.2 – Розрахунковий характер деформування породного відвалу при змінній конфігурації, коефіцієнт запасу стійкості  $k_s = 1,23$ , Профіль 3-3(2)

## Додаток Г – Відзив керівника кваліфікаційної роботи

## В І Д З И В

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія»), студента гр. 103-18-2 Литвинова Сергія Олексійовича «Інженерно-геологічні умови території Покровського промислового району та оцінка гідрогеомеханічної стійкості діючого породного відвалу у зв'язку з його реконструкцією»

Зв'язок завдання на кваліфікаційну роботу з об'єктом діяльності бакалавра. Завдання на представлену кваліфікаційну роботу безпосередньо пов'язано з об'єктом діяльності бакалавра за спеціальністю «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія») – дослідженням гідродинамічного та геомеханічного стану природно-техногенних об'єктів.

Актуальність. Складність вирішення завдань забезпечення стійкості породних масивів пов'язана з дією сукупності різноспрямованих факторів природного і техногенного характеру, що вимагає застосування сучасних методів аналізу і оцінки стану породних масивів. В зв'язку з цим тема кваліфікаційної роботи студента Литвинова С.О. є актуальною та сучасною.

Відповідність змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК. Робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку літератури і текстових додатків. Зміст роботи повністю відповідає стандартам вищої освіти та дескрипторам НРК.

Новизна. У роботі застосовані нові підходи до оцінки гідрогеомеханічної стійкості техногенних породних масивів із використанням сучасних методів гідродинамічного та геомеханічного моделювання напружено-деформованого стану обводнених породних масивів. При виконанні прогнозних розрахунків враховані особливості стану та властивостей зневоднених відходів вуглезбагачення, складованих до породного відвалу.

Практичне значення результатів. Представлені в роботі результати моделювання та виконані оцінки можуть бути використані для обґрунтування проєктів будівництва породних відвалів, призначених для сумісного складування гравітаційних та флотаційних відходів вуглезбагачення.

## Продовження додатку Г – Відзив керівника кваліфікаційної роботи

Ступінь самостійності виконання. Студент Литвинов С.О. виконав кваліфікаційну роботу самостійно, всі розрахунки виконані особисто автором із застосуванням спеціального програмного забезпечення.

Застосування ПЕОМ, реальність, комплексність. При виконанні роботи студентом Литвиновим С.О. у повній мірі використані засоби обчислювальної техніки та спеціальне програмне забезпечення, виконані розрахунки засновані на реальних даних щодо досліджуваного об'єкту та містять результати його комплексної оцінки.

Якість оформлення. Кваліфікаційна робота написана методично грамотно, містить необхідний обсяг табличного та ілюстративного матеріалу, оформлена відповідно до сучасних вимог.

Недоліки. При описі методів розрахунку геомеханічної стійкості породних масивів необхідно було б приділити більше уваги характеристиці існуючих методів моделювання.

Комплексна оцінка. Кваліфікаційна робота Литвинова С.О. відповідає вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньо-професійної програми «Геологія» і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Литвинов С.О. – присвоєння йому ступеня бакалавр за спеціальністю «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія»).

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

В.І. Тимошук

Додаток Д – Рецензія на кваліфікаційну роботу

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра НТУ «Дніпровська політехніка» спеціальності «Науки про Землю» (освітньо-професійна програма «Геологія»), студента гр.103-18-2 Литвинова Сергія Олексійовича «Інженерно-геологічні умови території Покровського промислового району та оцінка гідрогеомеханічної стійкості діючого породного відвалу у зв'язку з його реконструкцією»

Кваліфікаційна робота Литвинова С.О. присвячена оцінці гідрогеомеханічного стану проектованого плоского породного відвалу для складування зневоднених відходів вуглезбагачення ЦЗФ «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА» в умовах його реконструкції.

В процесі виконання дослідження автором роботи проведено аналіз і узагальнення даних про геолого-гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови досліджуваної території та ділянки породного відвалу, розроблена загальна гідродинамічна схема території та обґрунтовані структура розрахункових моделей, їх початкові та граничні умови.

За результатами математичного моделювання розроблений прогноз гідродинамічного режиму на ділянці породного відвалу у відповідності до схеми його реконструкції та виконана оцінка гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах проектованого нарощування відвалу.

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 освітньої програми «Геологія», і заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Литвинов С.О. – присвоєння ступеня бакалавр за спеціальністю «Науки про Землю».

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

М.М. Довбніч

## Додаток Е – Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

## Протокол перевірки кваліфікаційної роботи бакалавра

студента групи 103-18-2

(шифр групи)

Литвинова Сергія Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Назва роботи: «Інженерно-геологічні умови території Покровського промислового району та оцінка гідрогеомеханічної стійкості діючого породного відвалу у зв'язку з його реконструкцією»

Науковий керівник доц. Тимощук В.І.  
(прізвище, ініціали, посада)

Показники звіту подібності

Оригінальність, %	79
Подібність, %	21
Неправильні цитування, %	0

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

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

Науковий керівник

доц. Тимощук В.І.

Нормоконтролер

доц. Загриценко А.М.

Зав. кафедри

проф. Рудаков Д.В.

\_\_\_\_\_ (дата)