

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
"Дніпровська політехніка"

Геологорозвідувальний

(факультет)

Кафедра гідрогеології та інженерної геології

(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

кваліфікаційної роботи ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Євлаховича Артема Олександровича

(ПІБ)

академічної групи 103М-18-2

(шифр)

спеціальності 103 Науки про Землю

(код і назва спеціальності)

за освітньою програмою "Гідрогеологія"

(офіційна назва)

на тему: Особливості формування інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ерозійно-аккумулятивних рівнин з оцінкою гідрогеомеханічної стійкості огорожувальної споруди

(назва за наказом ректора)

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

Дніпро  
2019

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
гідрогеології та інженерної геології  
(повна назва)  
Рудаков Д.В.  
(прізвище, ініціали)  
" " " " " "  
2019 року

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

студенту Євлаховичу Артему Олександровичу академічної групи 103М-18-2  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 103М-18-2  
за освітньою програмою "Гідрогеологія"

на тему: Особливості формування інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ерозійно-аккумулятивних рівнин з оцінкою гідрогеомеханічної стійкості огорожувальної споруди, затверджену наказом ректора НТУ "Дніпровська політехніка" від 21.11.19 № 2147-л

Розділ	Зміст	Термін виконання
Загальний	Аналіз даних про геолого-гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови території проєктованого будівництва	15.10.19-30.10.19
Спеціальний	Оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці проєктованого будівництва та розробка прогнозу гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах можливих сейсмічних впливів	01.11.19-30.11.19
	Обґрунтування заходів щодо підвищення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах їх реконструкції.	01.12.19-11.12.19

Завдання видано

(підпис керівника)

Тимошук В.І.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

12.10.2019

Дата подання до екзаменаційної комісії

11.12.2019

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Євлахович А.О.

(прізвище, ініціали)



## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 107 с., 24 рис., 15 табл., 27 джерел.

Метою роботи є прогнозна оцінка гідрогеомеханічного стану ділянки золовідвалу ДТЕК-Ладижинська ТЕС і змін гідродинамічного режиму в умовах його реконструкції.

Об'єкт досліджень – гідродинамічні і гідрогеомеханічні процеси в ґрунтовому масиві і огорожувальних спорудах на ділянці золовідвалу ДТЕК-Ладижинська ТЕС в умовах проектного нарощування третього ярусу золовідвалу.

Оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу, а також визначення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд виконані з використанням чисельного геофільтраційного і гідрогеомеханічного моделювання на базі програмних комплексів MODFLOW, PHASE2 та GEOSTUDIO.

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

За результатами моделювання розроблено прогноз гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу у відповідності до схеми реконструкції золовідвалу та виконана оцінка гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах проектного нарощування третього ярусу золовідвалу.

Результати прогнозних розрахунків склали основу для обґрунтування заходів щодо підвищення стійкості огорожувальних споруд золовідвалу в умовах його реконструкції.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ЗОЛОВІДВАЛ, ОГОРОЖУВАЛЬНІ СПОРУДИ, ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ

## ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП .....	5
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ .....	7
2 ГЕОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ТА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ДІЛЯНКИ ЗОЛОВІДВАЛУ .....	11
2.1 Геологічна будова і гідрогеологічні умови .....	11
2.2 Інженерно-геологічні умови .....	15
3 ПРОГНОЗ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ ДІЛЯНКИ ЗОЛОВІДВАЛУ В УМОВАХ ЙОГО РЕКОНСТРУКЦІЇ .....	19
3.1 Математичне забезпечення геофільтраційної і геоміграційної моделей .....	19
3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання .....	25
3.3 Аналіз змін гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу .....	32
4 ОЦІНКА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОВІДВАЛУ .....	38
4.1 Процедура розрахунку стійкості із застосуванням динамічного методу .....	38
4.2 Розрахункова схематизація і методика розрахунку .....	42
4.3 Оцінка гідрогеомеханічної стійкості огороджувальних споруд за результатами розрахунків .....	55
5 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОВІДВАЛУ .....	59
ВИСНОВКИ .....	66
Перелік використаної літератури .....	69
ТЕКСТОВІ ДОДАТКИ .....	72



## ВСТУП

Дійсна робота присвячена оцінці гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу ДТЕК Ладижинська ТЕС і впливу його реконструкції на гідродинамічний режим досліджуваної території.

Метою роботи є прогнозна оцінка гідрогеомеханічного стану ділянки золовідвалу ДТЕК Ладижинська ТЕС і змін гідродинамічного режиму в умовах його реконструкції.

Об'єкт досліджень – гідродинамічні і гідрогеомеханічні процеси в ґрунтовому масиві і огорожувальних спорудах на ділянці золовідвалу ДТЕК Ладижинська ТЕС в умовах проектного нарощування третього ярусу золовідвалу.

Оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу, а також визначення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд виконано з використанням чисельного геофільтраційного і гідрогеомеханічного моделювання на базі програмних комплексів MODFLOW, PHASE2 та GEOSTUDIO.

В процесі виконання роботи вирішені наступні задачі:

- виконані аналіз і узагальнення даних про геолого-гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови досліджуваної території і ділянки золовідвалу;
- розроблені загальна гідродинамічна схема досліджуваної території, обґрунтована структура розрахункових моделей, визначені початкові і граничні умови;
- виконана прогнозна оцінка змін гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу відповідно до прийнятої схеми реконструкції золовідвалу;
- виконана оцінка гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах проектного нарощування третього ярусу золовідвалу;
- обґрунтовані заходи щодо підвищення стійкості огорожувальних споруд золовідвалу в умовах його реконструкції.

Основа для виконання прогнозних розрахунків склали результати інженерних вишукувань, дані режимних спостережень і матеріали досліджень, ви-

конаних у різні роки ДП "ТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ", ВАТ "ЛЬВІВТЕПЛОЕ-  
ЛЕКТРОПРОЕКТ", ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС".

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗОЛОВІДВАЛ, ОГОРОДЖУВАЛЬНІ СПОРУДИ,  
ГІДРОДИНАМІЧНИЙ РЕЖИМ, ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНА СТІЙКІСТЬ



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕРИТОРІЇ

Золівідвал ДТЕК Ладизинська ТЕС з огорожувальними дамбами знаходиться в 6 км від проммайданчика ДТЕК Ладизинська ТЕС і в 1,0...1,5 км на південний захід від с. Заозерне.

Згідно з геоморфологічним районуванням України район розташування ДТЕК Ладизинська ТЕС відноситься до ерозійно-аккумулятивної рівнини. Ділянка золівідвалу розташована в басейні річки Південний Буг, в межах якого виділяються заплавна перша, друга та третя надзаплавні тераси.

Найбільш древнім елементом річкових долин є третя надзаплавна тераса, яка поширена на правому та лівому берегах Південного Бугу. Тераса складена четвертинними озерно-алювіальними відкладами – пісками озерними суглинками і супісками, перекриті лесовидними суглинком. На сучасному етапі геологічного розвитку відмінності в рельєфі, які відносяться до тераси і плато, не спостерігається, тому границю прокладають умовно.

Друга надзаплавна тераса спостерігається по Південному Бугу. Це ерозійно-аккумулятивна тераса, причому її цоколь складений кристалічними породами.

Перша тераса не має широкого поширення. Ділянки першої тераси збереглися на правому березі річки Південний Буг. Поверхня тераси рівна, має слабкий нахил в сторону річки і поступово зливається з заплавою. Тераса складена в основному різнозернистими, часто мілкозернистими пісками. В основному тераса аккумулятивна.

Заплава рівна. Ширина заплави змінюється в широких межах: від 200 до 500 метрів. Для Південного Бугу спостерігається два чітко виражені рівні заплави – низький та високий, які підіймаються над урізом води відповідно на 1,0...1,5 і на 3,0...4,0 м.

Безпосередньо ділянка золівідвалу в геоморфологічному відношенні знаходиться в районі злучини р. Південний Буг в балці, яка відноситься до річного

басейну річки Сільниця. Фактично балка, у якій знаходиться золовідвал, розташована між правим берегом р. Південний Буг, та р. Сільниця. Річка Сільниця впадає в р. Південний Буг в 10 км від ділянки розташування золовідвалу.

Борти балки досить круті, особливо в місці її впадіння в долину р. Сільниця, але в міру просування до верхів'я, борти балки поступово виположуються.

Тальвег балки заболочений. В межах золовідвалу абсолютні позначки тальвегу змінюються від 195 м до 177 м.

У верхній частині балка симетрична, має трапецієподібний перетин. По верху її ширина становить приблизно 700...750 м, глибина – 22 м. Схили, в основному, задерновані, стійкі. Абсолютні позначки поверхні коливаються від 195 м в тальвегу балки до 217 м у верхній частині схилу.

У нижній частині глибина балки більше 30 м. Схили балки порівняно стійкі, правий схил задернований майже повсюдно, в межах лівого місцями спостерігаються оголення граніто-гнейсів.

Клімат району помірно-континентальний. Середньорічна температура повітря становить  $+6,7^{\circ}\text{C}$  (табл. 1.1). Середня температура самого теплого місяця (липень)  $+18,7^{\circ}\text{C}$ , самого холодного (січня)  $-6^{\circ}\text{C}$ . Абсолютні температурні екстремуми приходяться на середину зими ( $-35^{\circ}\text{C}$ ) і кінець літа ( $+38^{\circ}\text{C}$ ) – табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Температура зовнішнього повітря (у градусах Цельсія)

Метеорологічна станція Вінниця	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Середня добова	-5,1	-3,8	0,5	8,1	14,2	17,2	18,7	18,0	13,3	7,6	1,8	-2,9	7,3
Амплітуда температури	6,2	6,1	7,1	9,7	11,2	10,9	10,8	11,2	10,6	8,7	5,5	5,0	

Атмосферні опади розподіляються по території практично рівномірно. Найбільша кількість опадів (біля 50% річної суми) припадає на травень-серпень місяці. Середньомісячна кількість опадів коливається від 37 до 65 мм. Середньорічна сума опадів за багаторічний період коливається від 513 мм (1967 р.) до





Переважаючий напрямок вітрів в зимовий період – південний, південно-східний, в літній – західний, північно-західний (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Характеристика вітру

Переважаючий напрям вітру, його повторюваність, %											
Середня швидкість вітру, м/с											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
З,	ПдС,	Сх,	Пд,	ПдСх,	ПнЗ,	ПнЗ,	ПнЗ,	З,	Пд,	З,	З,
23	17	17	16	17	20	23	22	21	18	19	18
3,9	4,2	4,0	3,8	3,3	3,0	3,0	2,8	3,1	3,5	3,9	3,9

Відносна вологість повітря становить біля 65%.

Відповідно карти архітектурно-будівельного кліматичного районування [ДСТУ-Н Б В.1.1–27:2010 "Будівельна кліматологія"] територія м. Ладизин відноситься до Північно-Західного району для якої характерні наступні кліматичні характеристики (див. табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Кліматичні характеристики території

Температура повітря, °С				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру у січ- ні, м/с
середня за		абсолютний мінімум	абсолютний максимум			
січень	липень					
Від –5 до –8	Від 18 до 20	Від –37 до –40	Від 37 до 40	Від 550 до 700	Від 65 до 75	Від 3 до 4

Характеристики значень навантажень і впливів, прийняті по м. Ладизин, згідно ДБН В.1.2-2:2006 [15] (додаток Е):

- вітрове навантаження,  $w_o$  – 470 Па;
- снігове навантаження,  $s_o$  – 1360 Па;
- товщина стінки ожеледі,  $b$  – 17 мм;
- вітрове навантаження при ожеледі,  $w_{es}$  – 220 Па.

Глибина нормативного сезонного промерзання супіску і піску пилуватого і дрібного – 98 см, а для суглинків та глин – 80 см.



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

### 2.1 Геологічна будова і гідрогеологічні умови

У структурно-тектонічному відношенні досліджувана територія розташована в межах Українського кристалічного щита, на стику Уманського і Гайворонського тектонічних блоків. Кристалічний фундамент ускладнений численними тектонічними порушеннями.

В геологічній будові беруть участь нижньо-верхньочетвертинні і неогенові відкладення, що залягають на граніто-гнейсах або на продуктах їх вивітрювання архейського віку [20,21,23]

Верхньочетвертинні відкладення представлені еолово-делювіальними макropористими, просадними, карбонатними суглинками і супісками жовтого і жовто-бурого кольору, потужністю від 2,0 м до 15,2 м і делювіальними карбонатними глинами бурого і буро-жовтого кольору, тугопластичної і м'якопластичної консистенції, потужністю від 0,8 до 5,5 м.

Неогенові відкладення представлені нерозчленованими червоно-бурими глинами тугопластичної консистенції з прошарками і лінзами дрібних пісків і відкладеннями балтської світи, які представлені каоліністими щільними глинами блакитно-сірого, сірого і жовто-сірого кольору тугопластичної консистенції.

Потужність товщі неогенових відкладень змінюється від 2 м і 22 м.

Кора вивітрювання граніто-гнейсів, що залягає нижче, представлена каоліном і жорствяно-щербнистим ґрунтом загальною потужністю до 0,5...15,0 м.

Граніти нижньоархейського віку у верхній частині інтенсивно розбиті тріщинами, вивітрені до стану рухляку, з глибиною тріщинуватість і вивітрювання загасає.

У тальвегу балки були зустрінуті алювіальні балкові відкладення сучасночетвертинного віку. Представлені вони темно-сірими і темно-бурими замуленими суглинками і глинами з численними прошарками піску і торфу.

Алювіальні балкові відкладення утворюють зону в тальвегу балки шириною від 60 до 100 м в залежності від морфології тальвегу.

Залягають алювіальні балкові відкладення на неогенових глинах або граніто-гнейсах архейського віку.

В даний час в балці організований золовідвал. Потужність техногенних ґрунтів, представлених золошлаками, при нарощуванні 3-го ярусу секцій № 1 і № 2 золовідвалу складе в нижній частині балки більше 40 м.

На рис. 2.1 наведено характерні інженерно-геологічні розрізи огорожувальних дамб золовідвалу ДТЕК Ладизжинська ТЕС.

В межах досліджуваної території виділяються наступні водоносні горизонти

- водоносний горизонт в лесовидних суглинках плато та його схилів;
- водоносний горизонт в піщано-суглинистих алювіальних відкладах річкових долин і балок;
- водоносний горизонт в кристалічних породах і продуктах їх вивітрювання (корі вивітрювання).

Водоносний горизонт лесовидних суглинків приурочений до нижньої частини товщі. Водотривом для цього горизонту служать частіше всього червонобурі і бурі ущільнені глини. Рівень води знаходиться на глибинах від 1,0 до 24,0 м. Горизонт безнапірний. Дебіт свердловин 0,06 л/с, питомий дебіт – 0,01 л/с.

Живлення цього водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів.

За хімічним складом води відносяться до гідрокарбонатно-кальцієвих, мінералізація їх змінюється від 328 мг/л до 584 мг/л, жорсткість води 17...44 мг·екв/дм<sup>3</sup>.





Рисунок Ошибка! Текст указанного стиля в документе отсутствует..1 – Характерні інженерно-геологічні розрізи огорожувальних дамб золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС

Води використовуються місцевим населенням для питного і господарського водопостачання. Велике значення для водопостачання сіл має водоносний горизонт алювіальних відкладів річкових долин та балок. Води алювіальних відкладів розкриті чисельними криницями на глибинах 0,2...14,0 м. В більшості водоносний горизонт безнапірний і лише місцями має слабкий напір. Дебіт криниць та джерел змінюються від 0,01 до 0,15 л/с, питомий дебіт – 0,001...0,01 л/с.

Живлення водоносного горизонту здійснюється головним чином за рахунок поверхневих вод річок і струмків.

Води гідрокарбонатно-кальцієві, сухий залишок змінюється від 206 до 1949 мг/л, жорсткість 18...68.

Водоносний горизонт в кристалічних породах і в корі вивітрювання поширений повсюдно. Водовмісні породи представлені тріщинуватими гранітами. Ступінь обводнення кристалічних порід залежить від густоти тріщин, їх розмірів і ступеню кольматажу.

Кора вивітрювання представлена жорсткою кристалічних порід і каоліном. Води поширені в тріщинах кристалічних порід і корі вивітрювання, в більшості пов'язані між собою і утворюють єдиний водоносний горизонт. Водоносний горизонт знаходиться на глибинах 1,5...89,0 м, інколи він має напір. Величина напору 10...30 метрів, місцями 85 м.

Продуктивність свердловин змінюється від 0,02 до 2 л/с, а питомий дебіт складає 0,01...0,12 л/с.

Живлення водоносного горизонту здійснюється на ділянках близького залягання кристалічних порід до денної поверхні, за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, а на вододілах – за рахунок інфільтрації води із відкладів четвертинного віку. Основна область живлення водоносного горизонту – в місцях виходу кристалічних порід на денну поверхню.

За хімічним складом води кристалічних порід відносяться до гідрокарбонатно-кальцієвих і гідрокарбонатно-магнієвих, мінералізація змінюється від 184



до 1290 мг/л, жорсткість – 11...50. Підземні води кристалічного масиву використовуються місцевим населенням за допомогою криниць та свердловин.

Безпосередньо на ділянці розташування золовідвалу абсолютні позначки дзеркала ґрунтових вод змінюються від 175,15 м до 210,10 м. Настільки різке коливання відміток рівня ґрунтових вод обумовлено рельєфом. Дзеркало ґрунтових вод має ухил до тальвегу балки, де протікає постійно діючий водотік. Водомісними породами є макропористі суглинки, водотривам яких є неогенові глини або кора вивітрювання гранітів.

Живлення ґрунтових вод відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і фільтраційних втрат з існуючого золовідвалу.

Ґрунтові води мають вуглекислу і загальнокислотну агресивність по відношенню до бетонів на звичайному портландцементі.

На період вишукувань в межах ділянки золовідвалу свердловинами розкрито один, перший від поверхні безнапірний водоносний горизонт, рівень якого зафіксовано на глибинах 0,3...5,5 м (абс. відм. 207,7...215,10 м).

## 2.2 Інженерно-геологічні умови

За даними інженерно-геологічних вишукувань товща ґрунтів на ділянці золовідвалу ДТЕК Ладижинська ТЕС на розвідану глибину до 28,0 м представлена наступними стратиграфо-генетичними комплексами (СГК) та інженерно-геологічними елементами (ІГЕ) [26].

### СГК-I. Сучасні техногенні утворення (t Q<sub>4</sub>).

ІГЕ-Н1 (t<sub>4</sub>) – насипні ґрунти дамби тип 1: суміш супіску, золи та суглинку (з переважним вмістом супіску та золи) темного, темно-коричневого кольору, піску дрібнозернистого, жорсткості та щебеня вугілля та шлаку. слабо вологі, напівтверді чи пластичні.

ІГЕ-Н1' (t<sub>4</sub>) – насипні ґрунти дамби тип 1 (нижче РГВ): суміш супіску, золи та суглинку (з переважним вмістом супіску та золи) темного, темно-

коричневого кольору, піску дрібнозернистого, жорстви та щебеня вугілля та шлаку, насичені водою, пластичні чи текучі.

ПЕ-Н2 ( $t_4$ ) – насипні ґрунти дамби тип 2: суміш суглинку, золи та супіску (з переважним вмістом суглинку) темного, темно-коричневого кольору, піску дрібнозернистого, жорстви та щебеня вугілля та шлаку, слабо вологі, від твердих до тугопластичних.

ПЕ-Н2' ( $t_4$ ) – насипні ґрунти дамби тип 2 (нижче РГВ): суміш суглинку, золи та супіску (з переважним вмістом суглинку) темного, темно-коричневого кольору, піску дрібнозернистого, жорстви та щебеня вугілля та шлаку, слабо вологі, від м'якопластичних до текучепластичних, текучих.

ПЕ-Н3 ( $t_4$ ) – шламовий матеріал (вміст чаші золівідвалу): зола, з включенням жорстви і щебеня шлаку та вугілля (до 10...20%), насичені водою та середнього ступеню водонасичення.

ПЕ-Н4 ( $t_4$ ) – насипні ґрунти головної греблі: суміш суглинку з супісками, піском, світло-сірого, сірого та темно-коричневого кольору, щільного залягання, неоднорідної вологості (від слабо-вологих до насичених водою), неоднорідної пластичності (від напівтвердих до м'яко- та текучепластичних)

СГК-II. Нижне-верхньочетвертинні алювіальні та елювіально-делювіальні утворення (а, е-d Q<sub>1-4</sub>).

ПЕ-1 (а, е-d Q<sub>1-3</sub>) – Суглинки світлі: світло-коричневі суглинки, макропористі, напівтверді та туго пластичні, з включеннями карбонатів, та незначними прошарками супісків.

Шар зустрінутий усіма свердловинами за межами золівідвалу вище рівня ґрунтових вод, розкрита потужність шару до 5 м.

ПЕ-1' (а, е-d Q<sub>1-3</sub>) – Суглинки світлі (нижче РГВ): світло-коричневі та коричневі суглинки, з включеннями карбонатів та незначними прошарками супісків, насичені водою, від текучих до м'якопластичних.

Шар зустрінутий усіма свердловинами за межами золівідвалу нижче рівня ґрунтових вод, та у деяких свердловинах в межах золівідвалу під насипними ґрунтами дамби нижче рівня ґрунтових вод розкрита потужність шару до 9 м.



ІГЕ-2 (а, е-d Q<sub>1.3</sub>) – Суглинки сірі: суглинки сірі, зеленувато-сірі з охрами, щільні, від м'якопластичних до напівтвердих, нижче рівня ґрунтових вод, шар зустрінутий на глибинах від 6,0 до 14,0 метрів, потужність шару до 10 м.

ІГЕ-3 (f, N<sub>2</sub>-Q<sub>1</sub>) – Червоно-бурі глини: глини бурі, з червоним відтінком, щільні, із прошарками піску.

Шар зустрінутий на глибинах від 14,0 до 23,0 м, розкрита потужність шару 1 м.

Нормативні і розрахункові значення показників фізико-механічних властивостей ґрунтів, визначені на підставі результатів лабораторних досліджень та за таблицями В.1, В.2, В.3 Додатку В ДБН В.2.1-10-2009, наведені в табл. 2.1.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Таблиця 2.1 – Нормативні і розрахункові значення фізико-механічних характеристик ґрунтів (за даними інженерно-геологічних вишукувань ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС", 2017 [26])

№	Індекс генезису і вмісту ґрунта	Літологічний разрез (літогенно-геологічні елементи - ПГЭ)	Найменування ґрунта по ГОСТ 25100-95, ДСТУ БВ 2.1-96	Нормативные										Расчетные значения						Порядковый номер классификации ґрунта по ДБН Д.2.2-1-99, табл. 1	
				Удельный вес, т/м³		Природная влажность, д. ед	Число пластичности	Показатель консистенции	Степень влажности	Коэффициент пористости	Модуль деформации, МПа (кгс/см²)		Удельный вес, т/м³	Угол внутреннего трения, градус	Удельный вес, т/м³		Угол внутреннего трения, градус				
				$\gamma_n$	$\gamma_{ск}$						естест. сост.	насыщ. сост.			$\gamma_n$	$\gamma_t$		$\phi_n$	$\phi_t$		
1	1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23
1	1Q4	H1	Насипні ґрунти дамби тип-1: суміш супіску, золи та суглинку (з переважним вмістом супіску та золи)	1,84	1,57	0,17	4,0	-0,23	0,73	0,50	33,00	27,00	19,7	37	1,81	1,8	18	17	36	35	36г
2	1Q4	H2	Насипні ґрунти дамби тип-2: суміш суглинку, золи та супіску (з переважним вмістом суглинку)	1,93	1,60	0,20	13,3	-0,20	0,80	0,70	36,00	5,50	38	20	1,87	1,83	35,6	33,8	18	17	35в
3	1Q4	H3	Шламовий матеріал (вміст чаші зотовідвалу) зола, з включенням жорсткості і щебеня шлаку та вугілля (до 10-20%)	1,68	1,39	0,20	4,0	0,40	0,73	0,66	-	17,71	9,02	20	1,63	1,61	-	-	-	-*	35в
4	a, e-d Q1-3	ПГЕ-1	Суглинки світлі: світлорічкові суглинки, Макропористі. Напівтверді та тугопластичні. З включеннями карбонатів, та незначними прошарками супісків.	1,81	1,54	0,20	12,7	-0,20	0,62	0,77	21,10	8,10	21	21	1,75	1,72	19,2	17,7	21	20	35в
5	a, e-d Q1-3	ПГЕ-1'	Суглинки світлі (нижче РГВ): світлорічкові та річкові суглинки. З включеннями карбонатів. Та незначними прошарками супісків.	1,87	1,46	0,28	14,8	0,33	0,89	0,87	5,50	5,50	7	18	1,87	1,86	7	6	18	15	35в
6	a, e-d Q1-3	ПГЕ-2	Суглинки сірі: Суглинки сірі, зеленувато-сірі з охрами. Щільні. Від м'якопластичних до напівтвердих.	1,96	1,56	0,27	16,1	0,60	0,90	0,73	11,30	6,10	14	18	1,95	1,93	12	10	17	15	35б
7	f, N2-Q1	ПГЕ-3	Червоно-бурі глини: Глини. Бурі, з червоним відтінком. Щільні. Із прошарками піску.	1,97	1,59	0,23	17,1	-0,10	0,89	0,71	10,00	-	34	15	1,95	1,94	30	28	15	14	8а
	3		напівтвердих.																		
7	f, N2-Q1	ПГЕ-3	Червоно-бурі глини: Глини. Бурі, з червоним відтінком. Щільні. Із прошарками піску.	1,97	1,59	0,23	17,1	-0,10	0,89	0,71	10,00	-	34	15	1,95	1,94	30	28	15	14	8а



### 3 ПРОГНОЗ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РЕЖИМУ ДІЛЯНКИ ЗОЛОВІДВАЛУ В УМОВАХ ЙОГО РЕКОНСТРУКЦІЇ

#### 3.1 Математичне забезпечення геофільтраційної моделі

При дослідженні гідродинамічного та гідрогеохімічного режимів ділянки золовідвалу в умовах його реконструкції використана реалізована у програмному комплексі MODFLOW 2009 чисельна модель геофільтрації, яка представляє собою модель тривимірного потоку підземних вод постійної щільності в пористому середовищі і описується частковим диференціальним рівнянням:

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

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<sup>-1</sup>): для вхідного потоку  $W > 0$ , для вихідного потоку –  $W < 0$ ;  $S_s$  – питома ємність пористого середовища (L<sup>-1</sup>);  $t$  – 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 пронумеровані починаючи з верхнього краю сітки (в плановому представленні).  $DEL_R_j$  – ши-

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

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

В умовах стаціонарного потоку ємність постійна, тому права частина рівняння (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:

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

Це рівняння відноситься до часового кроку  $t$ , 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  $t-1$ .

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

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

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

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 двовимірному масиву значень живлення для кожного блоку сітки в горизонтальній площині і додатково двовимірному масиву для розрахункового шару, де поповнення буде застосовуватися для кожного блоку сітки в горизонтальній площині.

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

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

Пакет заснований на наступних положеннях: коли рівень ґрунтових вод знаходиться на рівні або вище поверхні землі (у верхній частині шару 1), витра-



та 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 гідравлічної провідності, яка може бути розрахована за формулою:

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

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

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

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



Провідність, як числовий параметр, що відображує опір потоку між контуром дренажування 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 дренажування в кожному осередку сітки, ( $L$ );  $LCOND$  – провідність на одиницю довжини контуру дренажування 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 дренажування 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.

### 3.2 Розрахункова схематизація і методика моделювання

Розрахункова схематизації ділянки розташування золівдвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС виконана виходячи з особливостей геологічної будови терито-

рії, характеру залягання водоносних горизонтів і їх гідравлічних характеристик, фільтраційних властивостей водовмісних порід, наявності гідравлічного взаємозв'язку між водоносними горизонтами, характеру живлення і розвантаження за площею розвитку водоносних горизонтів і на їх контурах.

Основним об'єктом досліджень в чисельній моделі є зона вільного водообміну, яка включає товщу обводнених четвертинних відкладень на схилових ділянках балки і в її тальвегу, кору вивітрювання кристалічного масиву, а також товщу обводнених техногенних утворень, представлених золами і золошлаковими матеріалами, в межах існуючого золовідвалу.

Відповідно до основних режимоутворюючих факторів, до яких в природних умовах відносяться розподілене по площі інфільтраційне живлення і дрекуючий 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 умовними прямокутними координатами 1000 м і 4500 м в широтному напрямку і 1000 м і 5000 м – в меридіональному, із загальною площею модельованої області 14,0 км<sup>2</sup>.

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

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

Структура моделі відповідно до геологічної будови території і характеру залягання розвинених в її межах водоносних горизонтів приведена до чотиришарової товщі, що враховує проектоване нарощування 3-го ярусу золовідвалу (рис. 3.2). У якості нижньої границі моделі прийнята умовна поверхня кори вивітрювання кристалічного масиву.



Відповідно до прийнятої структури розрахункові шари геофільтраційної моделі представлені наступним чином:

1 шар – водоносний – представлений товщею техногенних відкладень золошлакового матеріалу в інтервалі проектованого нарощування секцій № 1 і № 2 на висоту до 5,0 м;

2 шар – водоносний – складений обводненою товщею існуючих техногенних відкладень золошлакового матеріалу в межах секцій № 1 і № 2 золівідвалу потужністю до 30,0 м;

3 шар – водоносний і слабоводоносний – представлений товщею суглинків нижньо-верхньочетвертинного віку (ШЕ-1, 2) і червоно-бурих глин неоген-нижньочетвертинного віку загальною потужністю відповідно 4,0...11,7 м і 6,0...16,5 м;

4 шар – водоносний – в межах модельованої товщі представлений корою вивітрювання кристалічних порід – сильно тріщинуватих граніто-гнейсів потужністю до 15,0 м.

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

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

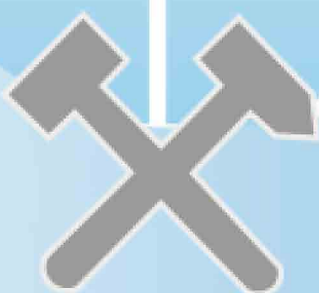
Величини напорів на контурах моделі прийняті відповідно до осереднених значень позначок рівнів води на цих границях у нижньо-верхньочетвертинних відкладеннях, що пов'язано з визначальним впливом на їх гідродинамічний режим характеру живлення і розвантаження водоносного горизонту. Провідність на зовнішніх контурах розрахункових шарів також визначена із осереднених значень їх фільтраційних провідностей в контурах модельованої області.

Значення параметрів провідності та величини напорів на границях модельованої області для розрахункового шару, що представляє водоносний горизонт нижньо-верхньочетвертинних відкладень, наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри гідродинамічних границь на контурах модельованої області

Гідродинамічна границя	Абсолютні позначки рівня, м	Водопровідність м <sup>2</sup> /добу
Шар 3	176,0...213,0	0,22...1,72
Шар 4	176,0...213,0	0,60

Внутрішніми гідродинамічними границями моделі є річка Сільниця і поверхневий водотік, що протікає в тальвегу балки. В межах модельованої області позначки води у річці Сільниця і поверхневому водотоці змінюються відповідно від 171,0 до 173,0 м і від 172,0 до 172,5 м, гідралічна провідність підруслівих відкладень – від 21,50 до 70,79 м<sup>2</sup>/добу.





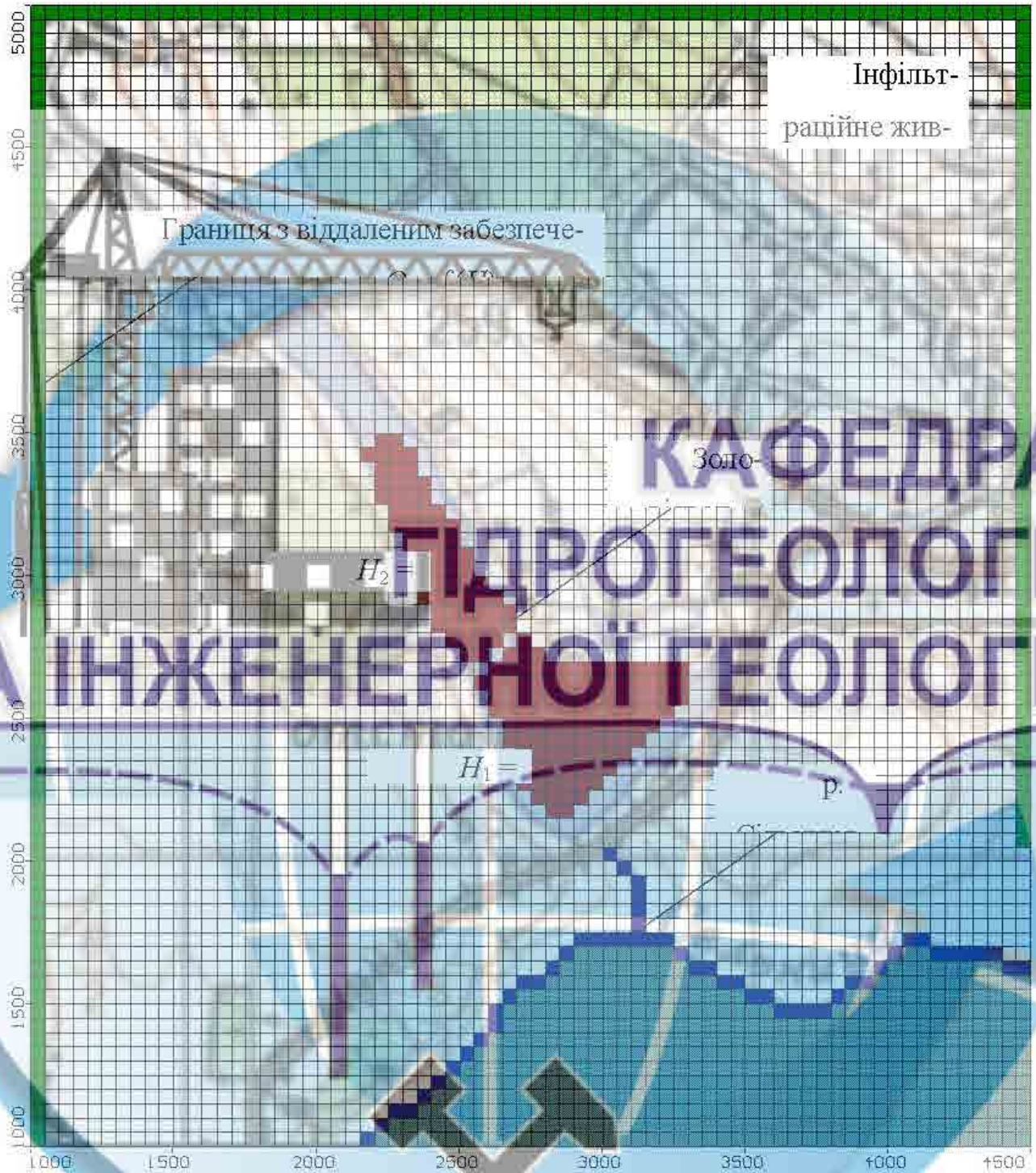


Рисунок 3.1 – Кінцево-різницева дискретизація модельованої області

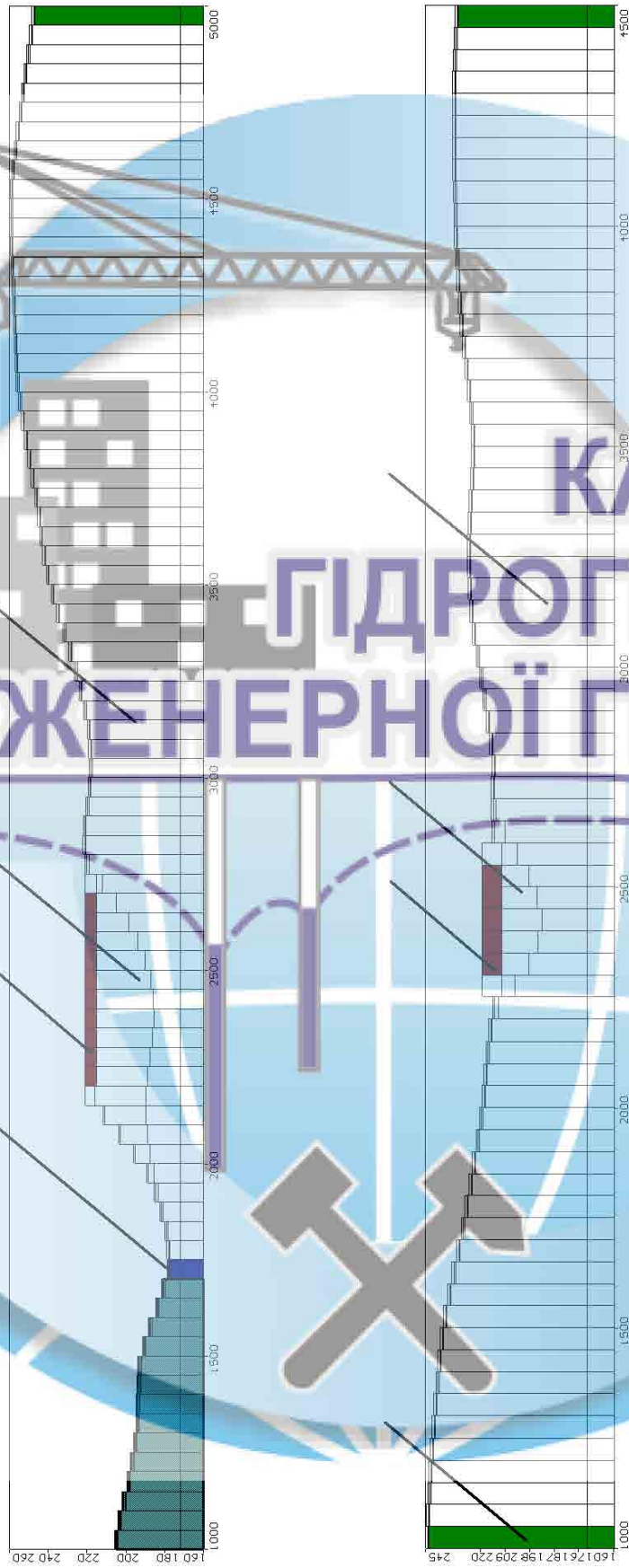


Рисунок 3.2 – Структура модельованої області у вертикальному перерізі – меридіональний (а) та широтний

(б) напрямки: 1 – ґрунтова основа, 2 – техногенні відкладення золотоплакового матеріалу, 3 – золотівдвал, границя з забезпеченим живленням  $H = Const$ , 4 – р. Сільниця  $Q = f(H)$ , 5 – границя з віддаленим забезпеченим живленням

$$Q = f(H)$$



Фільтраційні параметри по розрахунковим шарам задані згідно з результатами досліджень, виконаних на етапі інженерно-геологічних вишукувань, і даними вивчення властивостей ґрунтів і складованих у золовідвал золошлакових матеріалів в лабораторних і польових умовах.

До розрахунку були прийняті значення коефіцієнтів фільтрації, пружної і гравітаційної водовіддачі відповідно до діапазонів значень, наведених в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахункові фільтраційні параметри чисельної моделі

Розрахунковий шар	Фільтраційні параметри		
	Коефіцієнт фільтрації, $K$ ( $K_X = K_Y / K_Z$ ), м/добу	Коефіцієнт гравітаційної водовіддачі, $\mu$ , дол. од.	Коефіцієнт пружної водовіддачі, $\mu^*$ , дол. од.
Шар 1	0,1...1,0/0,1...1,0	0,10	0,0001
Шар 2	0,01...1,0/0,01...1,0	0,10	0,0001
Шар 3	0,1/0,1	0,20	0,0001
Шар 4	0,5/0,5	0,15	0,0001

При відсутності вираженої зональності гідравлічних 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" 660 мм/рік.

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

Методикою моделювання передбачалось вирішення задач прогнозової оцінки змін гідродинамічного режиму на ділянці розташування золовідвалу ві-

дповідно до прийнятої просторово-часової схеми складування золошлакоматеріалів.

При вирішенні задач нестационарної фільтрації розрахунковий час відповідає періоду від початку будівництва третього ярусу золовідвалу до його заповнення до відміток 221,2 і 219,5 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу, становив 5 років (1825 діб) в межах загального розрахункового періоду 25 років (10000 діб).

Основним фактором, що визначає формування гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу, є рівень техногенного живлення водоносного горизонту в четвертинних відкладеннях і корі вивітрювання кристалічних порід в умовах підпертого стану ґрунтових вод за рахунок нарощування третього ярусу золовідвалу.

### 3.3 Аналіз змін гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу

За даними прогнозних розрахунків встановлено, що формування гідродинамічного режиму на ділянці золовідвалу зумовлено підвищеним техногенним живленням в межах його чаші, яке пов'язане з експлуатацією золовідвалу та проєктованим нарощуванням третього ярусу.

Характер формування рівневої поверхні ґрунтових вод на період до початку будівництва третього ярусу золовідвалу та на період завершення процесу складування ілюструється рис. 3.3 та 3.4.

Аналіз результатів вирішення прогнозних геофільтраційних задач показує, що при проєктованому нарощуванні третього ярусу золовідвалу відбувається, зважаючи на характер гідравлічної взаємодії техногенного об'єкта з підземними водами, відповідне підняття рівнів підземних вод на прилеглий до золовідвалу території.

Так, при досягненні проєктних відміток поверхні золовідвалу ( $t = 2000$  діб) рівень води в межах огорожувальних споруд першого і другого ярусу на-



рощування секцій № 1 і № 2 досягає позначок відповідно 217,0...221,0 та 219,0...219,5 м, а на прилеглий до золовідвалу території знаходиться на абсолютних відмітках 215,0...219,0 м, що відповідає підвищенню рівнів води відносно їх існуючого положення на величину до 1,0 м в межах смуги шириною 500 м, до 2,0 м в межах смуги 100 м від золовідвалу, та до 3,0 м – безпосередньо в контурах огорожувальних споруд першого і другого ярусів нарощування. При цьому прилегла до золовідвалу територія в межах смуги до 100...150 м підтоплюється (рис. 3.5).

Зміна рівнів ґрунтових вод на прилеглий ділянці відбувається впродовж проектного терміну нарощування золовідвалу та зумовлюється абсолютними відмітками його секцій. При цьому поверхня ґрунтових вод, що формується на кінцевий термін експлуатації гідро технічного об'єкта ( $t = 2000$  діб), залишається майже незмінною впродовж розрахункового періоду  $t = 10000$  діб.

Складова фільтраційних витрат із золовідвалу в загальному балансі досліджуваної території становить  $990,01 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $11,46 \text{ л/с}$ ) до початку його нарощування, та збільшується до  $1334,84 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $15,45 \text{ л/с}$ ) на кінцевий термін його експлуатації ( $t = 2000$  діб). Характерним є поступове зниження фільтраційних витрат із чаші золовідвалу – їх значення на розрахункові періоди  $t = 5000$  діб та  $t = 10000$  діб складають відповідно  $1195,43$  та  $1163,84 \text{ м}^3/\text{добу}$  ( $13,84$  і  $13,47 \text{ л/с}$ ).

Зміна загального балансу модельованої області, яка зумовлена нарощуванням третього ярусу золовідвалу, на розрахункові терміни характеризується співвідношенням балансових складових, наведених в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Балансові складові модельованої області, м<sup>3</sup>/добу

Розрахунковий період	Складові балансу	Живлення	Розвантаження
Зворотна задача	Інфільтраційне живлення	558,39	-
	Взаємозв'язок з річкою	-	1228,83
	Витрати по контуру	29,39	326,49
	Витрати із золовідвалу	990,01	25,50
	Всього	1577,80	1580,82
	Похибка		-3,02
	Нев'язка, %		-0,19
5 років (2000 діб)	Інфільтраційне живлення	558,39	-
	Взаємозв'язок з річкою	-	1250,70
	Витрати по контуру	29,29	327,46
	Витрати із золовідвалу	1334,84	16,15
	Ємнісна складова	0,02	323,85
	Всього	1922,54	1918,16
	Похибка		4,38
10 років (5000 діб)	Інфільтраційне живлення	558,39	-
	Взаємозв'язок з річкою	-	1275,17
	Витрати по контуру	27,38	339,91
	Витрати із золовідвалу	1195,43	22,04
	Ємнісна складова	-	141,31
	Всього	1781,20	1778,43
	Похибка		2,77
25 років (10000 діб)	Інфільтраційне живлення	558,39	-
	Взаємозв'язок з річкою	-	1288,76
	Витрати по контуру	24,13	364,53
	Витрати із золовідвалу	1163,84	23,24
	Ємнісна складова	-	67,68
	Всього	1746,36	1744,21
	Похибка		2,15
Нев'язка, %		0,12	





Рисунок 3.3 – Положення рівневої поверхні ґрунтового водоносного горизонту за результатами вирішення зворотної задачі, м





Рисунок 3.4 – Прогнозне положення рівневої поверхні ґрунтового водоносного горизонту на кінцевий період експлуатації золовідвалу, м



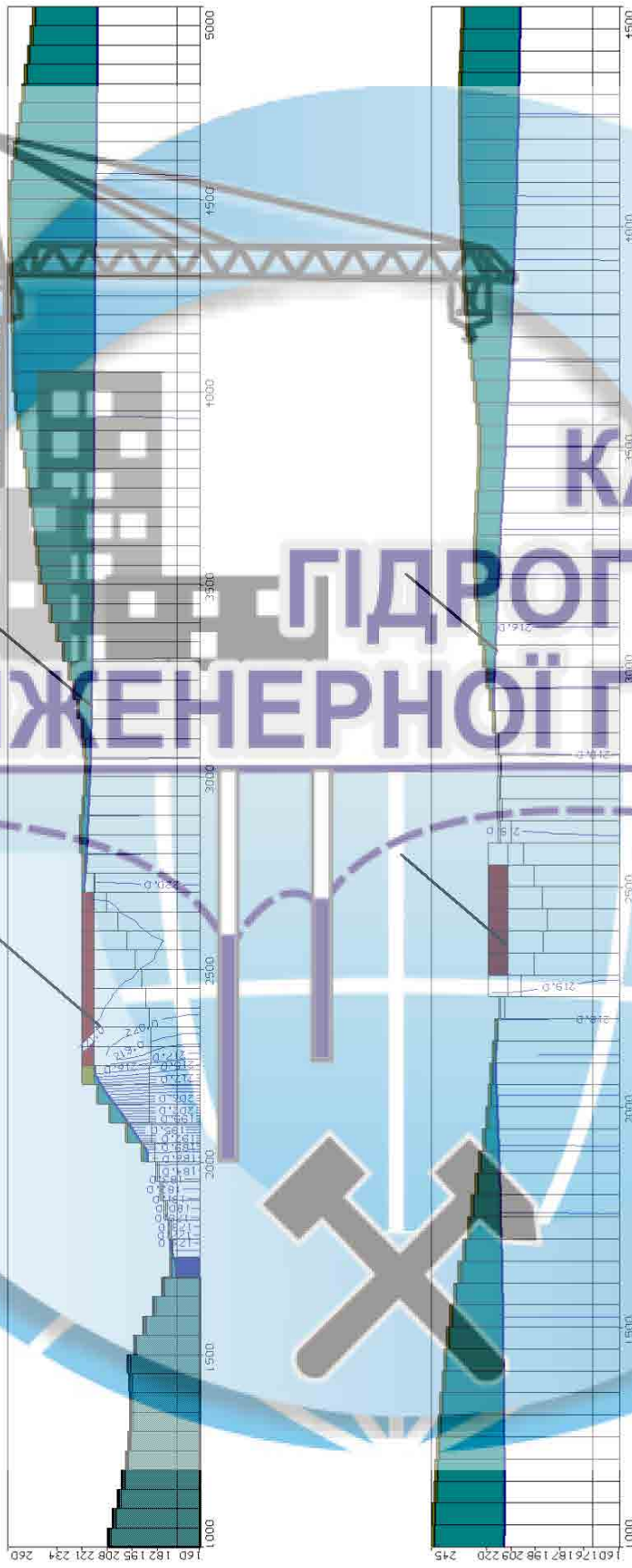


Рисунок 3.5 – Гідродинамічні профілі досліджуваної території на кінцевий період експлуатації золівідвалу – меридіональний (а) та північний (б) напрямки: 1 – рівнева поверхня, 2 – золівідвал ( $H = Const$ )

КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## 4 ОЦІНКА ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОВІДВАЛУ

### 4.1 Процедура розрахунку гідрогеомеханічної стійкості із застосуванням динамічного методу

Розрахунок стійкості із застосуванням динамічного методу виконується на основі акселерограми з урахуванням тривалості та інтенсивності землетрусу. Зміни прискорення в часі можуть бути задані у горизонтальному і вертикальному напрямках.

Крок часу акселерограми повинен бути таким, щоб включати час пікових і раптових змін. Для особливо відповідальних ділянок рекомендується виконувати розрахунок кілька разів для різних інтервалів часового кроку, щоб визначити вплив часових інтервалів на стійкість ділянок.

Динамічний аналіз базується на кінцево-елементному вирішенні рівняння руху наступного вигляду:

$$[K]\{d\} + [D]\{v\} + [M]\{a\} = \{F\}, \quad (4.1)$$

де  $\{d\}$  – вектор вузлових переміщень;  $\{v\}$  – вектор вузлових швидкостей;  $\{a\}$  – вектор вузлових прискорень;  $[K]$  – матриця жорсткості;  $[D]$  – матриця загасання коливань;  $[M]$  – матриця мас;  $\{F\}$  – вектор вузлових сил.

Динамічні зусилля прикладаються до всіх вузлів в сітці кінцевих елементів, тобто прискорення прикладається до всіх мас області ґрунту.

Розрахунок стійкості на основі динамічного аналізу виконується в такій послідовності:

- на першому кроці (статичний аналіз) вирішується задача визначення напружень і деформацій, що діють в масиві ґрунтів у природному стані;
- на другому етапі (динамічний аналіз) вирішується задача визначення напружень і деформацій при проходженні в масиві ґрунтів сейсмічних хвиль.

Розрахунок, отриманий за результатами статичного аналізу, є початковою умовою для проведення динамічного аналізу.



При чисельному моделюванні нижня межа розрахункової області, як правило, обмежується скельною основою, а бічні вимагають прийняття спеціальних обмежень переміщень.

Вектор навантажень може бути складений з різних сил:

$$\{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} + \{F_g\}, \quad (4.2)$$

де  $\{F_b\}$  – власна вага ґрунту;  $\{F_s\}$  – сили поверхневого тиску;  $\{F_n\}$  – зосереджена вузлова сила;  $\{F_g\}$  – навантаження від сейсмічних коливань.

Матриця мас може бути визначена у вигляді матриці розподілених мас або матриці зосереджених мас:

- матриця розподілених мас

$$[M] = \int_v \rho [\psi] dv; \quad (4.3)$$

- матриця зосереджених мас

$$[M] = \int_v \rho \langle N \rangle^T \langle N \rangle dv, \quad (4.4)$$

де  $\rho$  – зосереджена (масова) щільність;  $\langle N \rangle$  – вектор ряду інтерполюючих функцій;  $[\psi]$  – діагональна матриця коефіцієнтів розподілу маси.

Матриця загасання коливань визначається як сума лінійної матриці маси і матриці жорсткості:

$$[D] = \alpha [M] + \beta [K], \quad (4.5)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – скаляри, названі Релеєвськими коефіцієнтами демпфірування. Вони пов'язані з коефіцієнтом демпфірування  $\eta$  наступною формулою:

$$\eta = \frac{\alpha + \beta \omega^2}{2\omega}, \quad (4.6)$$

де  $\omega$  – частота коливань.

Матриця жорсткості визначається наступним чином:

$$[K] = \int_v [B]_T [C] \cdot [B] dv, \quad (4.7)$$

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

Вектор деформацій визначається з наступного виразу:

$$\{\varepsilon\} = [B] \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}, \quad (4.8)$$

де  $[B]$  – матриця деформацій;  $u, v$  – вузлові переміщення в напрямках по осі  $X$  і  $Y$  відповідно.

Вектор деформації також визначається складовими:

$$\{\varepsilon\} = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (4.9)$$

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

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial y} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial y} & \frac{\partial N_1}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial y} & \frac{\partial N_8}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

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

$$\{\sigma\} = [C]\{\varepsilon\}, \quad (4.11)$$

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

$$[C] = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix}, \quad (4.12)$$

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

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



$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = [C] \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (4.13)$$

В результаті перетворення формул (4.12) і (4.13) отримуємо формулу для визначення напружень і деформацій:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}. \quad (4.14)$$

Коефіцієнт стійкості визначається в кожен момент часу землетрусу як співвідношення суми зсувної міцності ґрунту і зсувних зусиль по поверхні ковзання:

$$k_{st} = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}, \quad (4.15)$$

де  $\sum S_r$  – сумарна зсувна міцність ґрунту по поверхні ковзання;  $\sum S_m$  – сума зсувних зусиль по поверхні ковзання.

Розрахунок зрушуючих  $S_m$  і утримуючих  $S_r$  сил в кожному розрахунковому відсіку виконується з урахуванням довжини його основи:

$$S_r = \tau_r l; \quad (4.16)$$

$$S_m = \tau_m l. \quad (4.17)$$

Розрахунок зсувної міцності ґрунту  $\tau_r$  в середині основи відсіку проводиться з використанням критерію міцності Кулона-Мора:

$$\tau_r = (\sigma_n - u) \operatorname{tg} \varphi + C, \quad (4.18)$$

де  $\sigma_n$  – нормальне напруження в середині основи відсіку, кПа;  $u$  – поровий тиск в середині основи відсіку, кПа.

Розрахунок нормального  $\sigma_n$  і дотичного  $\tau_m$  напружень в середині основи кожного відсіку виконується з використанням формул:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta; \quad (4.19)$$

$$\tau_m = \tau_{xy} \cos 2\theta - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta, \quad (4.20)$$

де  $\sigma_x$  – повне напруження в напрямку осі  $X$  в середині основи відсіку, кПа;  $\sigma_y$  – повне напруження в напрямку осі  $Y$  в середині основи відсіку, кПа;  $\tau_{xy}$  – дотичне напруження в площині  $XOY$  в центрі основи відсіку, кПа;  $\theta$  – кут між позитивним напрямком осі  $X$  і напрямком прикладення нормального напруження, град.

#### 4.2 Розрахункова схематизація і методика розрахунку

Методика розрахунку і розробка прогнозу стійкості огорожувальних споруд золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС передбачали вирішення прямих гідрогеомеханічних задач, які на першому етапі полягали в оцінці напружено-деформованого стану ділянок огорожувальних, на другому – оцінці їх стійкості за результатами динамічного аналізу з використанням синтетичних акселерограф, отриманих за даними мікросейсмічного районування ділянки золовідвалу (в умовах сейсмічного впливу на рівні максимального розрахункового землетрусу (МРЗ)).

Критерієм забезпечення стійкості укосів огорожувальних споруд є виконання для найнебезпечнішої призми зсуву нерівності:

$$\gamma_{fc} F \leq \frac{1}{\gamma_n} \left( R \frac{\gamma_c}{\gamma_{m(g)}} \right), \quad (4.21)$$

де  $\gamma_n$   $\gamma_{fc}$   $\gamma_c$   $\gamma_{m(g)}$  – коефіцієнти, відповідно, надійності за відповідальністю, сполучення навантажень, умов роботи, надійності за матеріалами або ґрунтами, значення яких вибираються за ДБН В.2.4-3:2010 [18];  $R$  – 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 може бути використана залежність для коефіцієнту стійкості (коефіцієнту запасу стійкості)

$$k_s = \frac{R}{F}. \quad (4.22)$$

Тоді умова (4.21) може бути записана як

$$k_s \geq [k_s], \quad (4.23)$$

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

$$[k_s] = \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc} \cdot \gamma_{m(g)}}{\gamma_c}. \quad (4.24)$$

Відповідно до класу (підкласу) відповідальності СС2-1, до якого віднесено гідротехнічні споруди золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС, для періоду експлуатації при основному розрахунковому сполученні навантажень для категорії відповідальності конструкції та її елементів А [16] значення нормованого коефіцієнту надійності згідно з ДБН В.2.4-3:2010 [18] становить  $\gamma_n = 1,20$  (табл. 4.1).

Значення коефіцієнта сполучення навантажень при розрахунках за першою групою граничних станів приймається у відповідності до ДБН В.2.4-3:2010 [18] і для періоду експлуатації при аварійному сейсмічному навантаженні на рівні максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) становить  $\gamma_{fc} = 0,85$  (табл. 4.2).

Згідно з розрахунковим сполученням навантажень для основного сполучення навантажень при використанні розрахункових значень властивостей ґрунтів (значення коефіцієнта надійності за ґрунтами при використанні розрахункових значень фізико-механічних характеристик приймається рівним  $\gamma_{m(g)} = 1,0$ ) і коефіцієнту умов роботи  $\gamma_c = 1,0$  допустиме нормоване значення коефіцієнту стійкості для основного сполучення навантажень становить  $[k_s] = 1,20$ ,

для аварійного сполучення навантажень при сейсмічному навантаженні на рівні максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) –  $[k_s] = 1,02$ .

Таблиця 4.1 – Значення коефіцієнтів надійності за відповідальністю гідротехнічних споруд для різних класів наслідків (відповідальності) споруд (ДБН В.2.4-3:2010, табл. 2.2)

Клас (підкласи) наслідків (відповідальності)	Категорія відповідальності конструкції та її елементів	Значення $\gamma_n$ , які використовуються в розрахункових ситуаціях	
		перша група граничних станів	друга група граничних станів
СС3	А	1,250	1,000
	Б	1,200	
	В	1,150	
СС2-1 СС2	А	1,200	1,000
	Б	1,150	
	В	1,000	
СС2-2	А	1,150	1,000
	Б	1,100	
	В	1,000	
СС1	А	1,100	1,000
	Б	0,975	
	В	0,950	

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнта сполучення  $\gamma_{fc}$  навантажень при розрахунках за першою групою граничних станів (ДБН В.2.4-3:2010, табл. 2.3)

Розрахункові сполучення навантажень та впливів	Значення коефіцієнта сполучення навантажень $\gamma_{fc}$	
	Період експлуатації	Період будівництва і ремонту
Основне	1,00	0,95
Аварійні:		
при несейсмічному аварійному навантаженні	0,90	0,85
при сейсмічному навантаженні на рівні проектного землетрусу	0,95	0,90
при сейсмічному навантаженні на рівні максимального розрахункового землетрусу	0,85	0,80



При оцінці гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд до розрахунку прийнято сім профілів, проведених через характерні ділянки золовідвалу в напрямку найбільш ймовірного розвитку негативних деформаційних процесів (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Розрахункові профілі ділянок огорожувальних споруд золовідвалу ДТЕК Ладизинська ТЕС

Розміри моделей відповідно до розрахункових профілів визначені за умови мінімізації впливу їх контурів на напружено-деформований стан модельованих споруд і охоплюють ділянки протяжністю 170,0...320,0 м при потужності

модельованої товщі від 26,0 м біля низового укосу греблі золовідвалу до 56,0...72,7 м – в межах чаші золовідвалу для його першої і другої секцій (рис. 4.2 ... 4.8).

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

Зважаючи на існуючий стан огорожувальних дамб визначення гідрогеомеханічної стійкості дамб третього ярусу нарощування до проектних відміток 222,7 і 221,0 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу (відмітки заповнення чаші золовідвалу 221,2 і 219,5 м) виконувалося за умови відновлення (нарощування) огорожувальних дамб другого ярусу і заповнення чаші золовідвалу до проектних відміток 216,2 і 214,5 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу (див. рис. 4.2 ... 4.8)

У загальному вигляді чисельні моделі в межах оцінюваних ділянок представлені кінцевими елементами восьми типів відповідно до геолого-літологічної будови ґрунтової товщі в онові золовідвалу, золошлакового матеріалу в його чаші, шлаково-суглинистого матеріалу огорожувальних дамб і суглинистого матеріалу низової греблі.

Основними параметрами, що визначають стан модельованого масиву і його поведінку в умовах пружно-пластичного деформування, є питома вага  $\gamma$ , модуль деформації  $E$ , коефіцієнт Пуассона  $\nu$ , питоме зчеплення  $C$  і кут внутрішнього тертя  $\varphi$ , тобто набір характеристик, одержуваних при проведенні стандартного комплексу інженерно-геологічних вишукувань.

Розрахункові значення фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, матеріалу огорожувальних дамб і складованих у чашу відвалу золи і золошлакових матеріалів встановлені за даними виконаних на різних етапах будівництва і реконструкції золовідвалу досліджень [20,23,24], і уточнені за результатами дійсних інженерно-геологічних вишукувань [26].



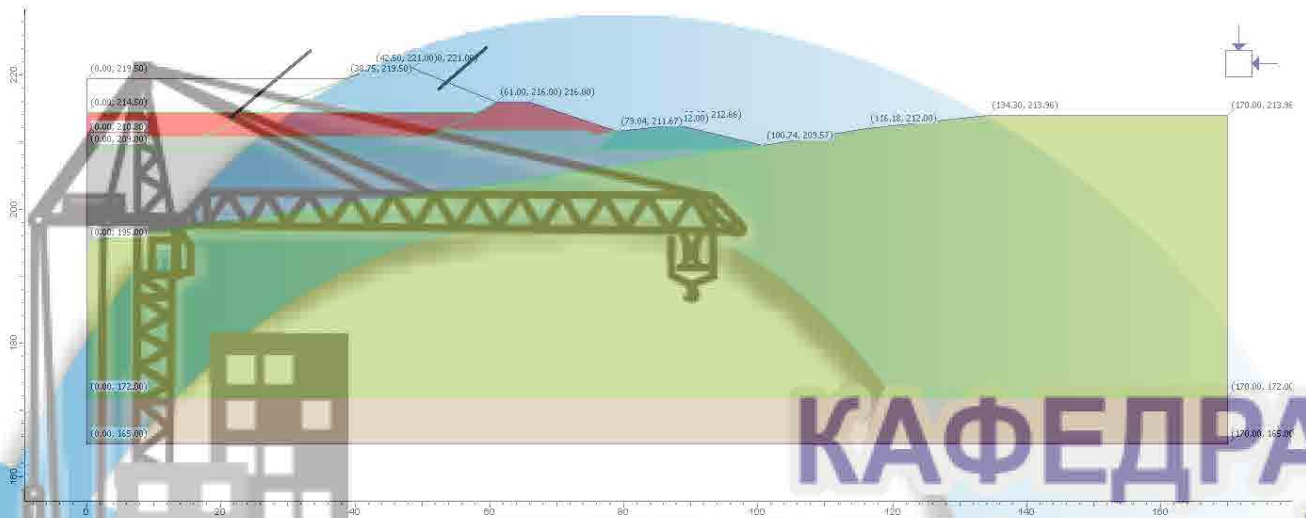


Рисунок 4.2 – Розрахунковий профіль 1-1 – секція 2 (лівий борт): 1 – об'єм нарощування другого ярусу; 2 – проектне нарощування третього ярусу

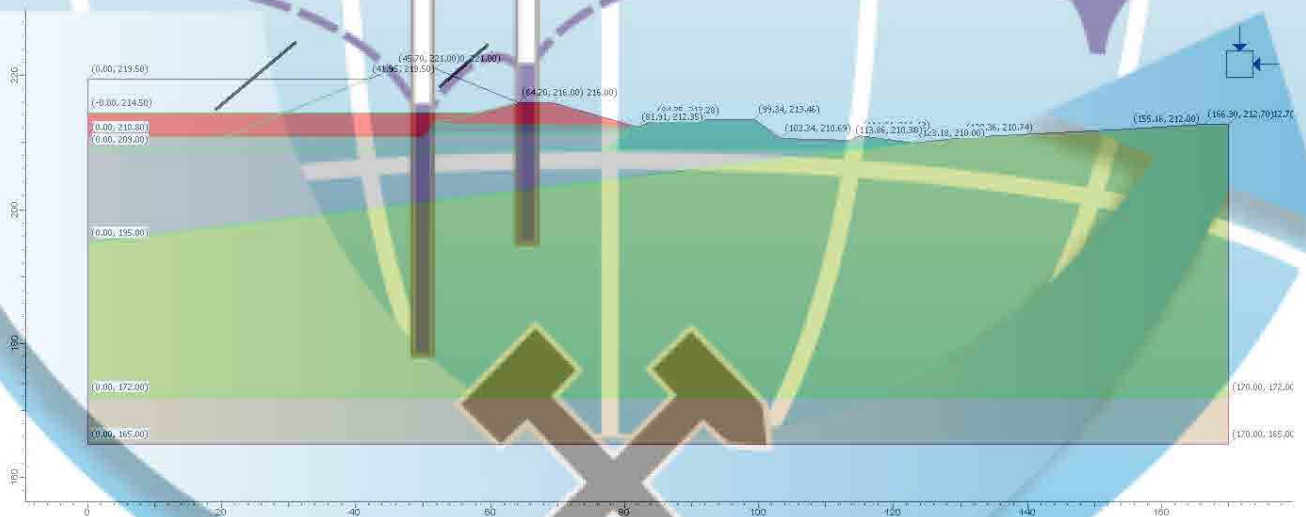


Рисунок 4.3 – Розрахунковий профіль 2-2 – секція 2 (лівий борт): 1 – об'єм нарощування другого ярусу; 2 – проектне нарощування третього ярусу

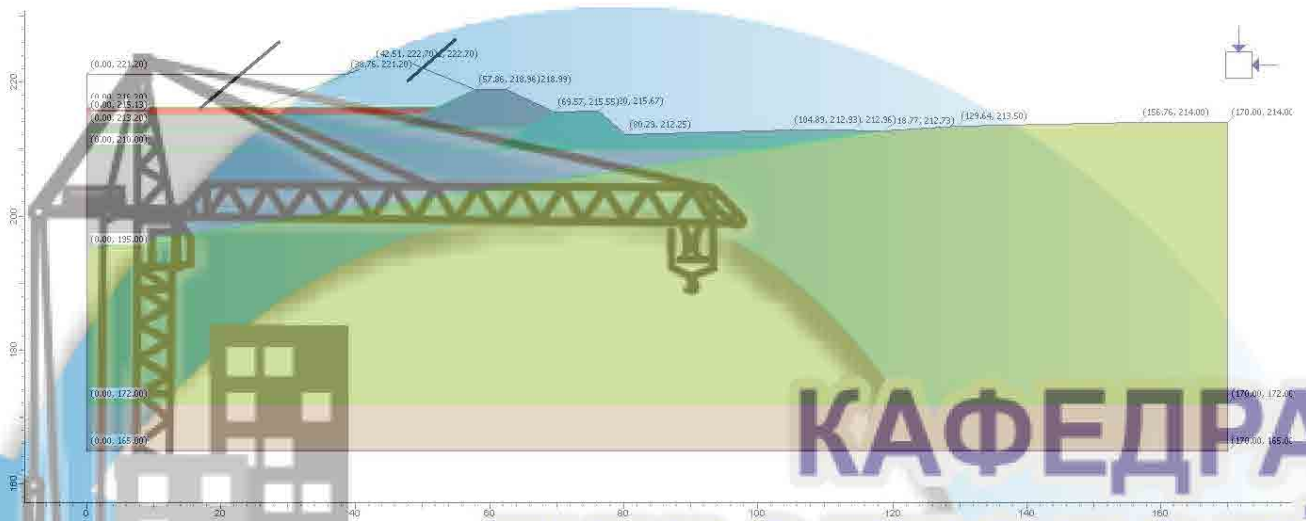


Рисунок 4.4 – Розрахунковий профіль 3-3 – секція 1 (лівий борт): 1 – об'єм нарошування другого ярусу; 2 – проектне нарошування третього ярусу

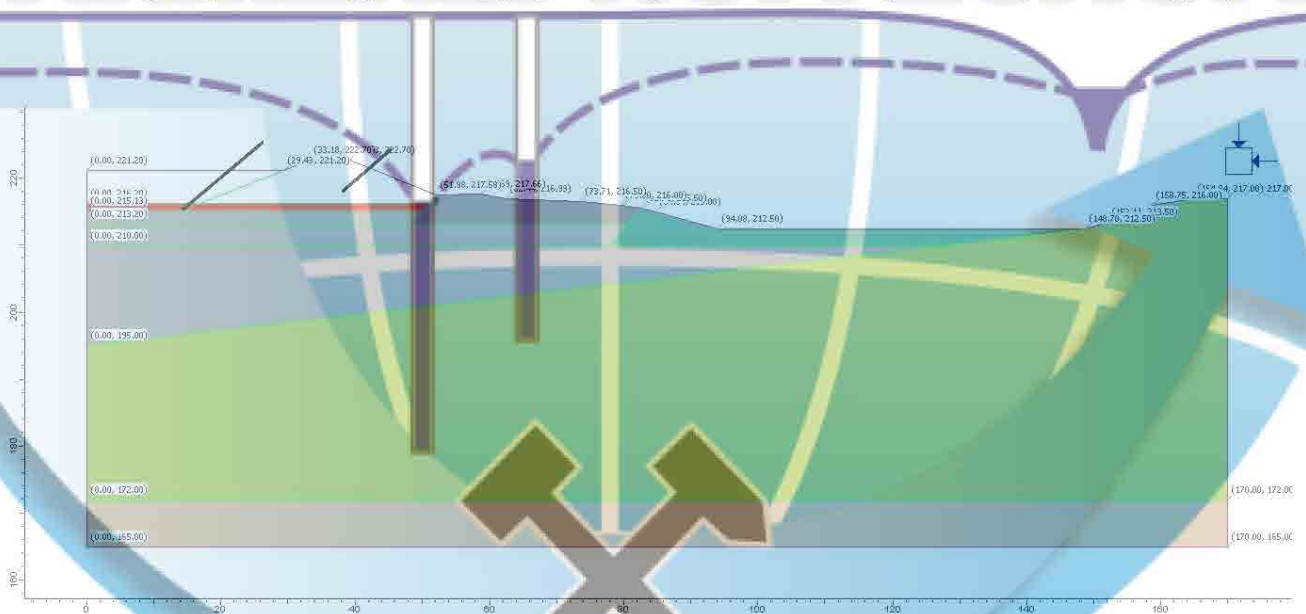
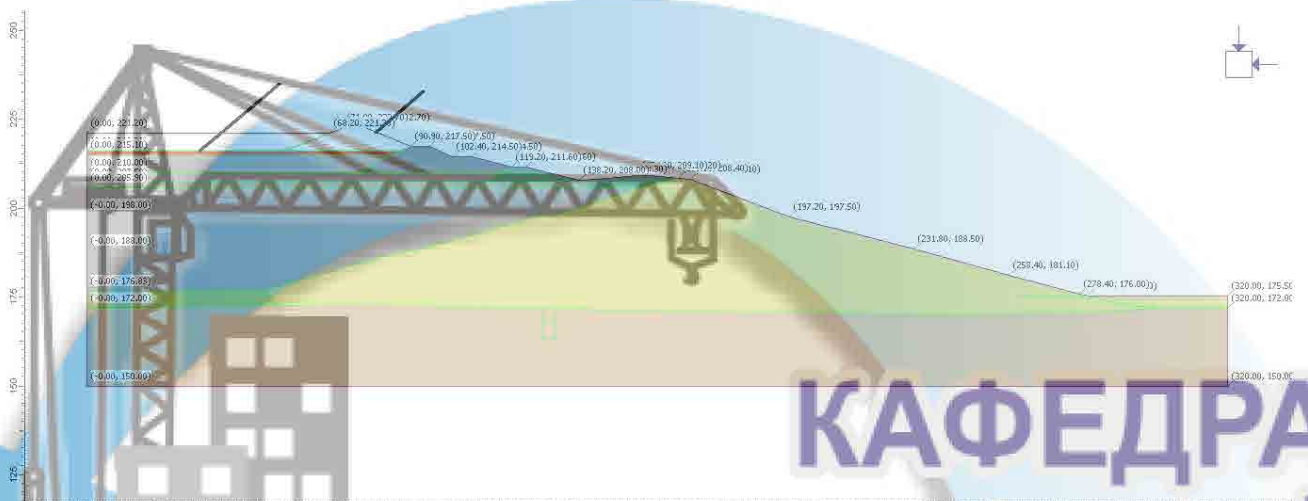


Рисунок 4.5 – Розрахунковий профіль 4-4 – секція 1 (лівий борт): 1 – об'єм нарошування другого ярусу; 2 – проектне нарошування третього ярусу





КАФЕДРА  
ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ  
ТА ГІДРОГЕОЛОГІЇ

Рисунок 4.6 – Розрахунковий профіль 5-5 – секція 1 (низова гребля): 1 – об'єм нарошування другого ярусу; 2 – проектне нарошування третього ярусу

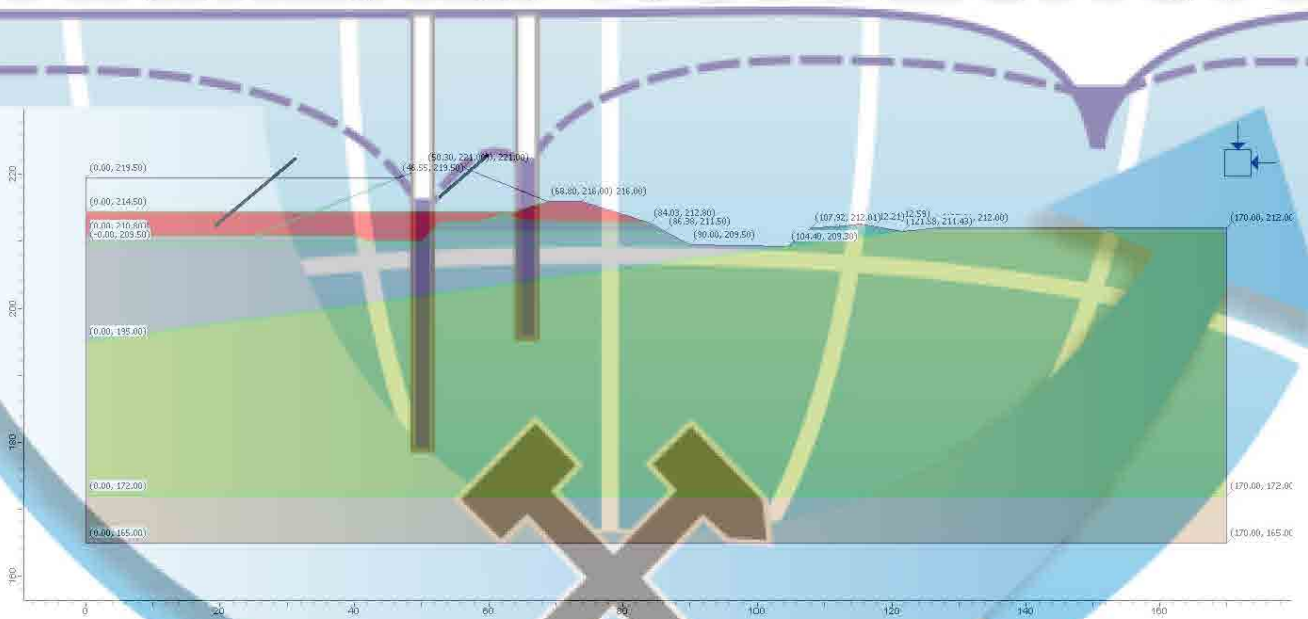


Рисунок 4.7 – Розрахунковий профіль 6-6 – секція 2 (правий борт): 1 – об'єм нарошування другого ярусу; 2 – проектне нарошування третього ярусу

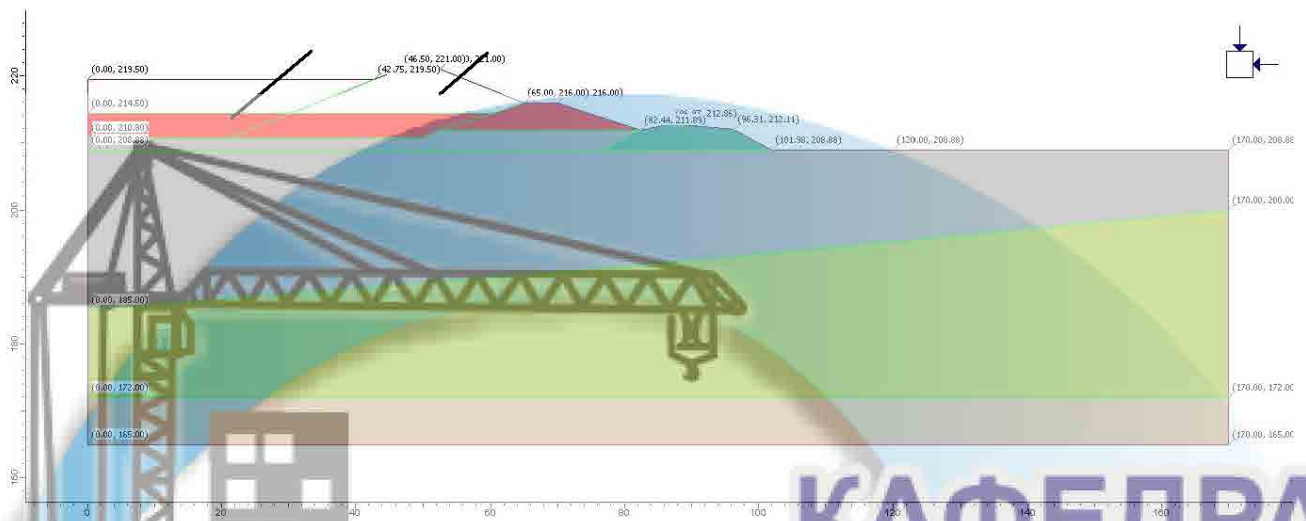


Рисунок 4.8 – Розрахунковий профіль 7-7 – секція 2 (секція проясненої води): 1 – об'єм нарощування другого ярусу; 2 – проектне нарощування третього ярусу

Згідно з даними вишукувань матеріал, з якого складаються огорожувальні дамби золовідвалу, представлений двома номенклатурами гранта: з переважним вмістом відповідно суглинчастого (ПЕ-Н1) і суглинчастого (ПЕ-Н2) матеріалів.

Значення фізико-механічних властивостей складованої до золовідвалу золи, прийняті в якості розрахункових в чисельних моделях, також представлені двома типами: золою консолідованою (ПЕ-Н3) в інтервалі складованих до чаші відходів на момент проведення вишукувань, і золою свіжонамитою (ПЕ-Н3') – в інтервалі відновлення першого і другого ярусів золовідвалу до проектних відміток та інтервалі проектного нарощування третього ярусу.

Значення розрахункових фізико-механічних характеристик граніто-гнейсів в основі четвертинних відкладень, які в чисельних моделях представляють міцне нестисливе підґрунтя, прийняті за довідковими даними і для вивітрілих тріщинуватих гранітів встановлені рівними: питома вага  $\gamma = 25,5 \text{ кН/м}^3$ ,



модуль деформації  $E = 4,5 \cdot 10^4$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,28$ . питоме зчеплення  $C = 22,0$  МПа, кут внутрішнього тертя  $\varphi = 36,5^\circ$ .

Уточнення розрахункових характеристик золошлакового матеріалу в чаші золовідвалу і тілі огорожувальних дамб виконано за даними пресіометричних досліджень. Згідно з даними польових визначень параметрів міцності золи і шлаку характеризуються наступними значеннями: для золи –  $C = 9,02$  кПа,  $\varphi = 20,0^\circ$ , для шлаку –  $C = 9,06$  кПа,  $\varphi = 23,0^\circ$ .

Слід відзначити, що отримані за даними пресіометричних випробувань величини параметрів міцності збігаються з даними досліджень, отриманими ВНДІГ [8] для консолидованих відкладів золошлакових матеріалів на об'єктах енергетичної галузі для 95% забезпеченості – для зольної зони  $C = 10,0$  кПа,  $\varphi = 25 \dots 27^\circ$ , для шлакової зони –  $C = 10,0$  МПа,  $\varphi = 28,0 \dots 30,0^\circ$ .

Прийняті до розрахунку значення фізико-механічних характеристик ґрунтів основи, встановлені за результатами статистичної обробки вибірових даних з урахуванням коефіцієнта надійності по ґрунту  $\gamma_m(g)$  для першої групи граничних станів, наведені в табл. 4.3. При уточненні розрахункових характеристик за результатами інженерно-геологічних вишукувань [26], зважаючи на існуючу неоднорідність випробовуваних ґрунтів і обмежені розміри статистичних вибірок, до розрахунку приймалися всі часткові значення показників властивостей ґрунтів без врахування статистичних "відскоків".

Розрахункова щільність золошлакового матеріалу проєктованих дамб 3-го ярусу нарощування прийнята згідно з фактичною щільністю золошлакового матеріалу в дамбах 2-го ярусу нарощування (ІІЕ-Н1), встановленою за даними лабораторних визначень на етапі інженерно-геологічних вишукувань рівною  $\rho = 1,714$  т/м<sup>3</sup> ( $\sim 1,72$  т/м<sup>3</sup>) при розрахунковому значенні щільності сухого золошлакового матеріалу  $\rho_d = 1,43$  т/м<sup>3</sup>. Як і у попередньому випадку, значення щільності золошлакового матеріалу встановлено з урахуванням всіх часткових значень розрахункових характеристик в межах статистичних вибірок.

Значення питомої ваги золошлакового матеріалу, що використовується в розрахунку стійкості огорожувальних споруд, визначено для ПГЕ-Н1 як:  $\gamma = 1714 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 = 16,81 \text{ кН/м}^3$  (див. табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення фізико-механічних і фільтраційних характеристик ґрунтів основи, золи і золошлакового матеріалу

Номер типу елемента	Найменування	Питома вага, $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	Модуль деформації, $E$ , кПа	Коефіцієнт Пуассона, $\nu$ , дол. од.	Питоме зчеплення, $C$ , кПа	Кут внутрішнього тертя, $\varphi$ , град	Модуль зсуву максимальний, $G_{max}$ , кПа	Коефіцієнт демпфірування, $\xi$	Коефіцієнт фільтрації, $K_f$ , м/доб
1	Насипний ґрунт – золошлаковий матеріал водонасичений (ПГЕ-Н1)	16,81	29088	0,30	9,06	23,0	11188	0,1	0,48
2	Насипний ґрунт – золошлаковий матеріал з домішками суглинків (ПГЕ-Н2)	18,21	31307	0,33	9,06	23,0	11770	0,1	0,10
3	Зола консолідована водонасичена (ПГЕ-Н3)	15,89	17480	0,35	9,02	20,0	6474	0,1	0,10
4	Зола водонасичена (ПГЕ-Н3')	15,77	3000	0,35	3,00	14,0	111	0,1	0,10
5	Насипний ґрунт – суглинки тугопластичні (ПГЕ-Н4)	19,13	15000	0,33	18,00	19,0	5639	0,1	0,01
6	Суглинки м'якопластичні (ПГЕ-1)	15,40	9288	0,35	17,23	20,0	3440	0,1	0,20
7	Глини (ПГЕ-3)	19,07	17200	0,37	28,49	15,25	6277	0,1	0,0001
8	Граніто-гнейси тріщинуваті	25,50	$4,5 \cdot 10^7$	0,28	22000	36,5	$1,75 \cdot 10^7$	0,1	0,50

Послідовність виконання розрахунків гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд ДТЕК Ладжинська ТЕС полягала у визначенні на першому етапі з використанням модуля SEEP/W програмного пакету GEOSTUDIO



положення рівня ґрунтових вод і відповідного йому розподілу гідравлічних напорів (порового тиску), які визначались згідно з положенням нормального підпірного горизонту у чаші золовідвалу, рівного абсолютним відміткам 221,2 і 219,5 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу третього ярусу нарощування.

На другому етапі в модулі SLOPE/W з урахуванням розрахункового розподілу гідравлічних напорів визначався початковий напружено-деформований стан модельованих масивів, який в подальшому складав основу для статичного розрахунку стійкості огорожувальних споруд і динамічного аналізу в модулі QUAKE/W. Сейсмічні сили розраховувались у відповідності до заданих синтетичних акселерограм, відмасштабованих за піковими значеннями горизонтальних ( $R$ - і  $T$ -компоненти акселерограми) і вертикальних ( $Z$ -компонента акселерограми) прискорень до значень, які відповідають розрахунковій сейсмічності на рівні максимального розрахункового землетрусу МРЗ [27] (рис. 4.9...4.11).

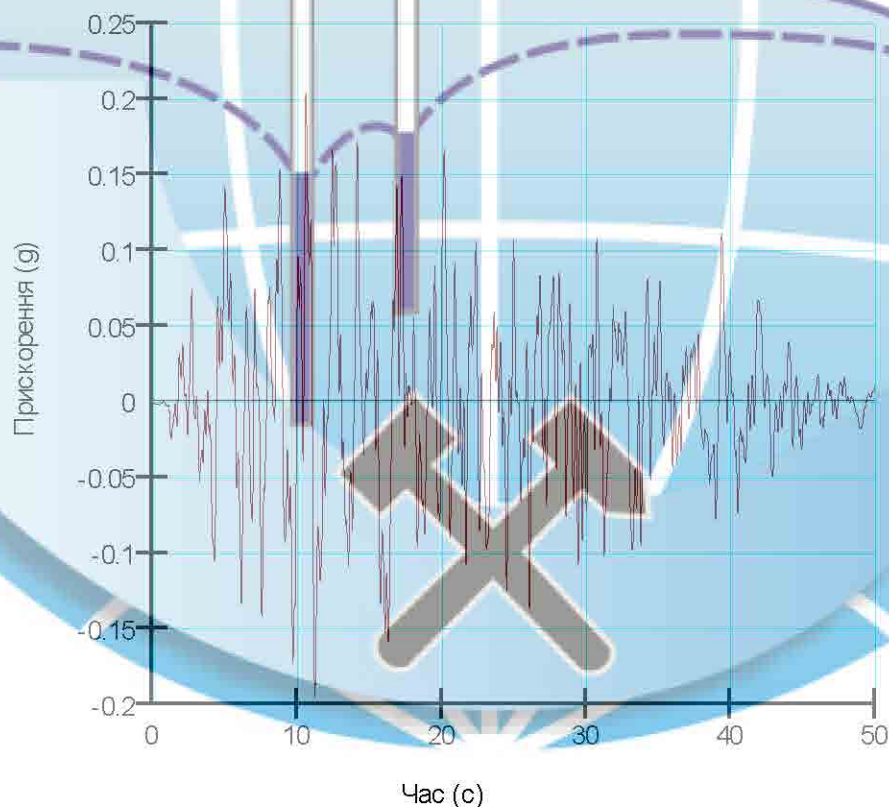


Рисунок 4.9 –  $R$ -компонента акселерограми, використаної в динамічному розрахунку

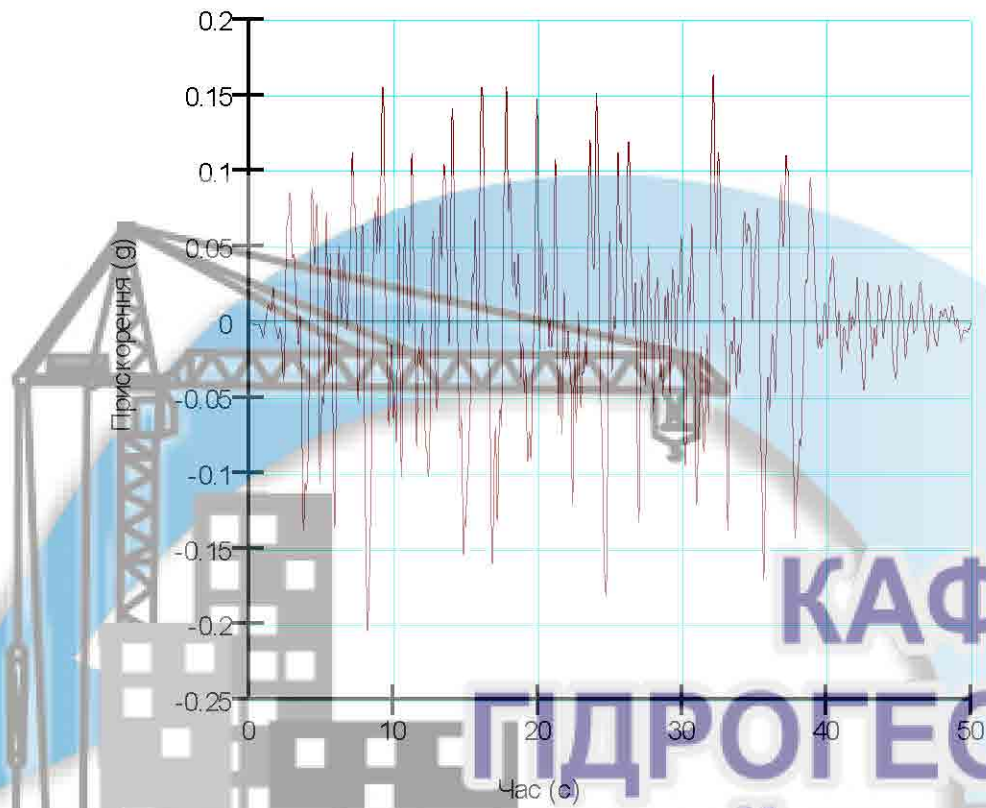


Рисунок 4.10 – *T*-компонента акселерограми, використаної в динамічному розрахунку

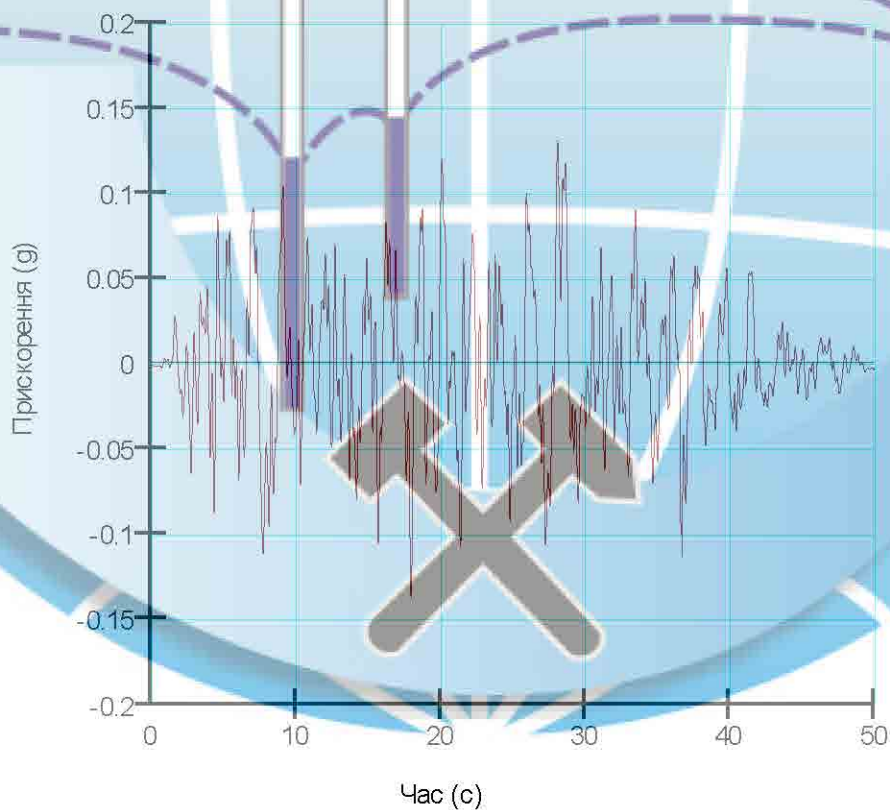


Рисунок 4.11 – *Z*-компонента акселерограми, використаної в динамічному розрахунку



На третьому етапі за результатами динамічного аналізу з використанням модуля SLOPE/W визначалося положення критичної поверхні ковзання для кожного із розрахункових профілів з мінімальним значенням коефіцієнту стійкості ( $k_s$ ) для кожного із значень прискорень в межах часового перерізу розрахункового землетрусу з кроком 0,01 с.

Для оцінки впливу дренажного водозниження на гідрогеомеханічну стійкість огорожувальних споруд розглядалася можливість закладення горизонтального трубчатого дренажу в основі дамб нарощування третього ярусу золовідвалу. Положення трубчатого дренажу визначалось поверхнею сполучення дамб третього ярусу нарощування з дамбами другого ярусу на відмітках проектного заповнення чаші золовідвалу другого ярусу 216,2 і 214,5 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу.

#### 4.3 Оцінка гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд за результатами розрахунків

Виконані розрахунки гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу ДТЕК Ладижинська ТЕС показали, що їх напружено-деформований стан в межах досліджуваних ділянок визначається геометричними розмірами дамб, закладенням її низових укосів, положенням рівневої поверхні ґрунтових вод, а також деформаційними і міцнісними характеристиками золошлакового матеріалу в основі огорожувальних дамб.

При визначенні кута закладення укосів огорожувальних дамб третього ярусу нарощування однією з умов було неперевикнення рівневою поверхнею води поверхні сполучення проєктованих дамб з огорожувальними дамбами другого ярусу. Розрахункові схеми для визначених профілів огорожувальних споруд наведені в текстових додатках Д.1...7.1.

Наведене в текстових додатках Д.1...7.2 розрахункове положення рівневих поверхонь води і відповідний їм розподіл гідравлічних напорів (порового тиску) в тілі огорожувальних дамб і ґрунтовій основі отримано при закладенні

верхових і низових укосів дамб третього ярусу нарощування золовідвалу 1:2,5 без врахування роботи горизонтального дренажу.

Максимальні повні напруження в межах модельованих ділянок з урахуванням порового тиску за результатами кінцево-елементних рішень відповідно до розрахункових профілів представлені в текстових додатках Д.1...7.3.

Встановлені за результатами статичних розрахунків значення коефіцієнту запасу стійкості для розрахункового напружено-деформованого стану і розподілу гідралічних напорів (порового тиску) в межах ділянок розрахункових профілів (текстові додатки Д.1...7.4) наведені в табл. 4.4

Таблиця 4.4 – Розрахункові значення коефіцієнта запасу стійкості огорожувальних споруд при проектуваному нарощуванні третього ярусу золовідвалу

Варіант розрахунку	Нормоване значення, $[k_s]$ , дол.од. ( $\gamma_n = 1,20$ )	Значення коефіцієнта запасу стійкості, $k_s$ , дол.од. / часова позначка, с Розрахункові профілі						
		1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7
Проектне нарощування дамб, статичний розрахунок, основне навантаження, $\gamma_{ls} = 1,00$	1,20	1,228	1,531	1,385	1,543	1,215	1,177	1,426
Проектне нарощування дамб, динамічний розрахунок, сейсмічне навантаження на рівні МРЗ, $\gamma_{ls} = 0,85$ (R+Z-компоненти акселерограми)	1,02	$\frac{1,062}{16,2}$	$\frac{1,216}{22,8}$	$\frac{1,122}{15,7}$	$\frac{1,339}{15,8}$	$\frac{1,077}{19,8}$	$\frac{0,956}{38,0}$	$\frac{0,994}{19,8}$
Проектне нарощування дамб, динамічний розрахунок, сейсмічне навантаження на рівні МРЗ, $\gamma_{ls} = 0,85$ (T+Z-компоненти акселерограми)	1,02	$\frac{1,034}{40,7}$	$\frac{1,281}{21,9}$	$\frac{1,055}{42,5}$	$\frac{1,494}{29,4}$	$\frac{1,068}{31,8}$	$\frac{0,969}{38,4}$	$\frac{1,097}{28,9}$



Згідно з результатами статичних розрахунків, отримані значення коефіцієнтів запасу стійкості для всіх профілів, крім профілю 6-6 (секція 2, правий борт золовідвалу), перевищують нормоване значення коефіцієнта стійкості, визначене для основного сполучення навантажень і рівне  $[k_s] = 1,20$ .

Для випадку аварійного сполучення навантажень при сейсмічному навантаженні на рівні максимального розрахункового землетрусу (МРЗ), значення коефіцієнтів запасу стійкості надані за результатами динамічного аналізу з використанням синтетичних акселерограм.

Розрахунки виконані для комплектів поверхонь ковзання в межах розрахункових профілів на основі даних з модуля QUAKE/W програмного пакету GEOSTUDIO.

Сейсмічні сили в модулі розраховувалися у відповідності до трикомпонентної акселерограми, відмасштабованої за піковими значеннями горизонтальних ( $R$ - і  $T$ -компоненти) і вертикальних прискорень ( $Z$ -компонента) до значень, відповідних розрахунковій сейсмічності ділянки золовідвалу. Залежності стійкості огорожувальних споруд за даними рішень в модулі SLOPE/W від сейсмічних коливань для компонентів синтетичних акселерограм наведені в текстових додатках Д.1...7.5 і Д.1...7.7, а відповідні критичним поверхням ковзання положення зсувних блоків, встановлені для мінімальних значень коефіцієнту стійкості для часових відміток розрахункового землетрусу, – в текстових додатках Д.1...7.6 і Д.1...7.8.

Встановлені за результатами динамічних розрахунків значення коефіцієнтів стійкості відповідно до критичних поверхонь ковзання для часових інтервалів землетрусу, також як і у випадку статичних розрахунків для основного сполучення навантажень, перевищують нормоване значення для аварійного сполучення навантажень  $[k_s] = 1,02$ . Виключенням є профілі 6-6 та 7-7 (секція 2, правий борт золовідвалу і секція проясненої води), для яких отримані значення коефіцієнту стійкості менші за нормоване для аварійного сполучення навантажень у випадку розрахункового максимального землетрусу (див. табл. 4.4).

Для забезпечення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд на рівні не нижче нормованого на цих ділянках доцільним є закладення горизонтального дренажу, який буде забезпечувати зниження рівня води і відповідних йому гідравлічних напорів на контурі огорожувальних споруд третього ярусу нарощування.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ



## 5 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ СПОРУД ЗОЛОВІДВАЛУ

Забезпечення гідрогемеханічної стійкості огороджувальних споруд в умовах проєктованого нарощування третього ярусу золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС при закладенні укосів огороджувальних дамб 1:2,5 і щільністю золошлакового матеріалу  $\rho_r = 1,72 \text{ т/м}^3$  (розрахункове значення щільності сухого золошлакового матеріалу  $\rho_d = 1,43 \text{ т/м}^3$ ) досягається при спорудженні в основі низового укосу дамб нарощування самотічного трубчатого горизонтального дренажу. Закладення горизонтального дренажу повинно виконуватися по зовнішньому периметру (контуру) золовідвалу за виключенням розділяючої дамби між першою та другою секціями.

Відносно положення горизонтального дренажу визначається поверхнею сполучення дамб нарощування третього ярусу золовідвалу (абсолютні відмітки 222,7 и 221,0 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу) з верховим укосом дамб другого ярусу нарощування. Відмітки закладення трубчатого дренажу визначаються нижньою точкою сполучення дамб третього і другого ярусу нарощування і відповідають відміткам проєктного заповнення чаші золовідвалу другого ярусу 216,2 і 214,5 м відповідно для першої і другої секцій золовідвалу.

Розрахунки, виконані для умов закладення горизонтального трубчатого дренажу в основі низового укосу дамб 3-го ярусу золовідвалу, показали, що при його роботі забезпечується додатковий запас гідрогемеханічної стійкості на рівні не менше  $[k_s] = 1,20$  і  $[k_s] = 1,02$  відповідно для основного та аварійного сполучення навантажень (табл. 5.1).

Питомий дренажний водовідбір фільтраційних вод, оцінений при проєктованому водозниженні на контурі сполучення дамб третього і другого ярусів нарощування відповідно до відміток закладення горизонтальних дрен 216,2 і 214,5 м для першої і другої секцій золовідвалу, для розрахункових профілів секцій золовідвалу характеризується величинами, наведеними в табл. 5.2.

Таблиця 5.1 – Розрахункові значення коефіцієнта запасу стійкості огорожувальних споруд золовідвалу при роботі контурного горизонтального дренажу

Варіант розрахунку	Нормоване значення, $[k_s]$ , дол.од. ( $\gamma_n = 1,20$ )	Значення коефіцієнта запасу стійкості, $k_s$ , дол.од./ (часова позначка, с)						
		Розрахункові профілі						
		1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7
Проектне нарощування дамб, контурний горизонтальний дренаж, статичний розрахунок, $\gamma_{ls} = 1,00$	1,20	1,270	1,698	1,494	1,792	1,217	1,294	1,480
Проектне нарощування дамб, контурний горизонтальний дренаж, динамічний розрахунок, сейсмічне навантаження на рівні МРЗ, $\gamma_{ls} = 0,85$ (R+Z-компоненти акселерограми)	1,02	<u>1,075</u> 16,3	<u>1,313</u> 22,8	<u>1,184</u> 15,7	<u>1,439</u> 15,8	<u>1,079</u> 19,8	<u>1,043</u> 37,9	<u>1,081</u> 33,5

Таблиця 5.2 – Розрахункові значення питомого дренажного водовідбору при роботі контурного горизонтального дренажу

Варіант розрахунку	Питомий дренажний водовідбір, $q_d$ , м <sup>3</sup> /год на 1 м / л/с на 1 м.						
	Розрахункові профілі						
	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	7-7
Горизонтальний трубчатий дренаж, $D_m = 200$ мм	<u>0,011</u> 0,0031	<u>0,021</u> 0,0058	<u>0,023</u> 0,0065	<u>0,015</u> 0,0043	<u>0,021</u> 0,0058	<u>0,016</u> 0,0043	<u>0,017</u> 0,0046

Величини питомого дренажного водовідбору, встановлені за результатами кінцево-елементних рішень профільних геофільтраційних задач, отримані при діаметрі труб горизонтального дренажу  $D_m = 200$  мм.

З урахуванням необхідного ухилу самотічного горизонтального трубчатого дренажу не менше  $i = 0,002$  і неперевищення проектних відміток дренажного водозниження його закладення може бути виконано виходячи з існуючого заповнення чаші золовідвалу до відміток 215,2 і 210,8 м відповідно для першої і



другої секції і закладення горизонтальних дрен на їх верхових ділянках на відмітках відповідно 217,5 і 215,5 м при довжині дрен близько 1090...1140 м для першої і 980...1170 м – для другої секції золовідвалу (рис. 5.1...5.6).

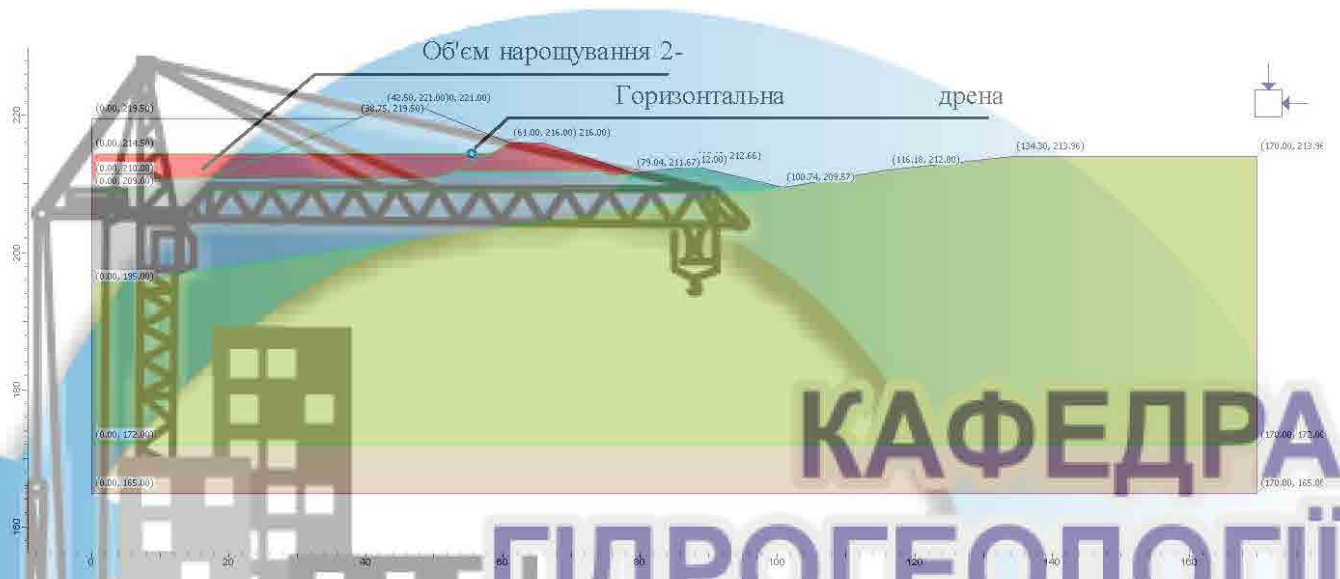


Рисунок 5.1 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 2 (лівий борт), розрахунковий профіль 1-1

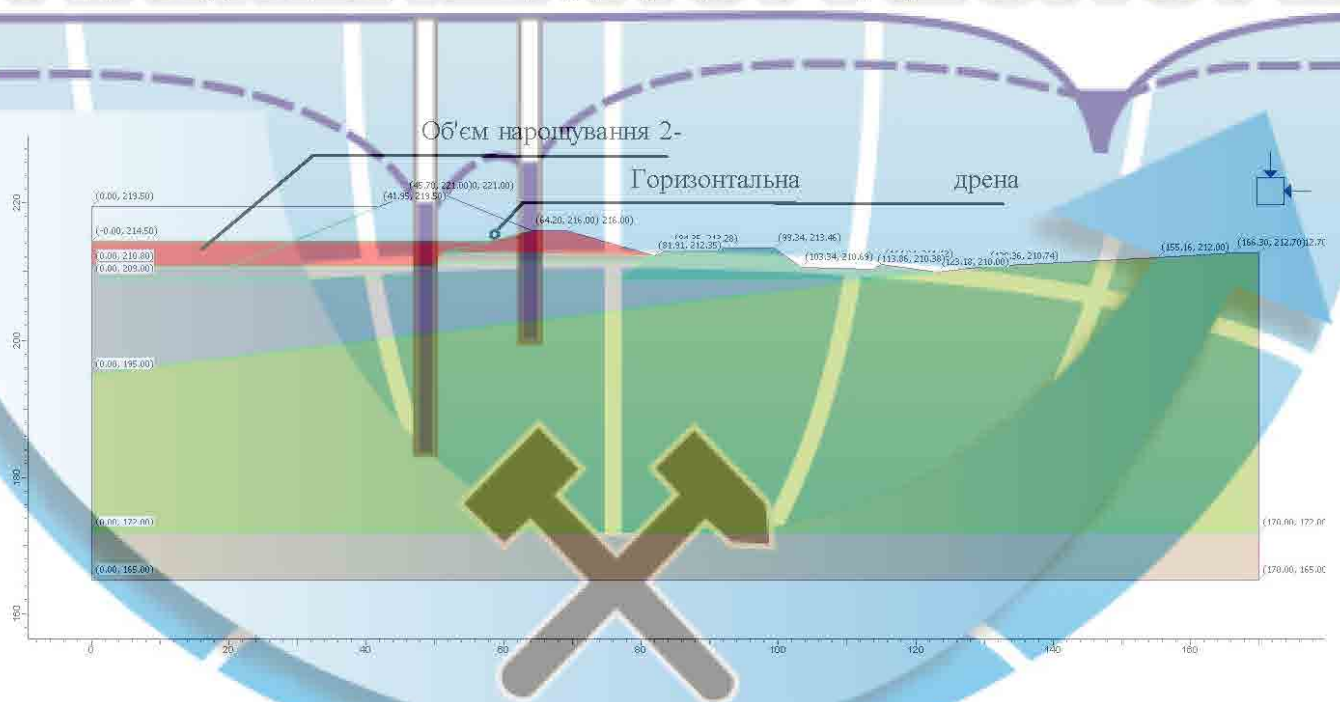


Рисунок 5.2 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 2 (лівий борт), розрахунковий профіль 2-2

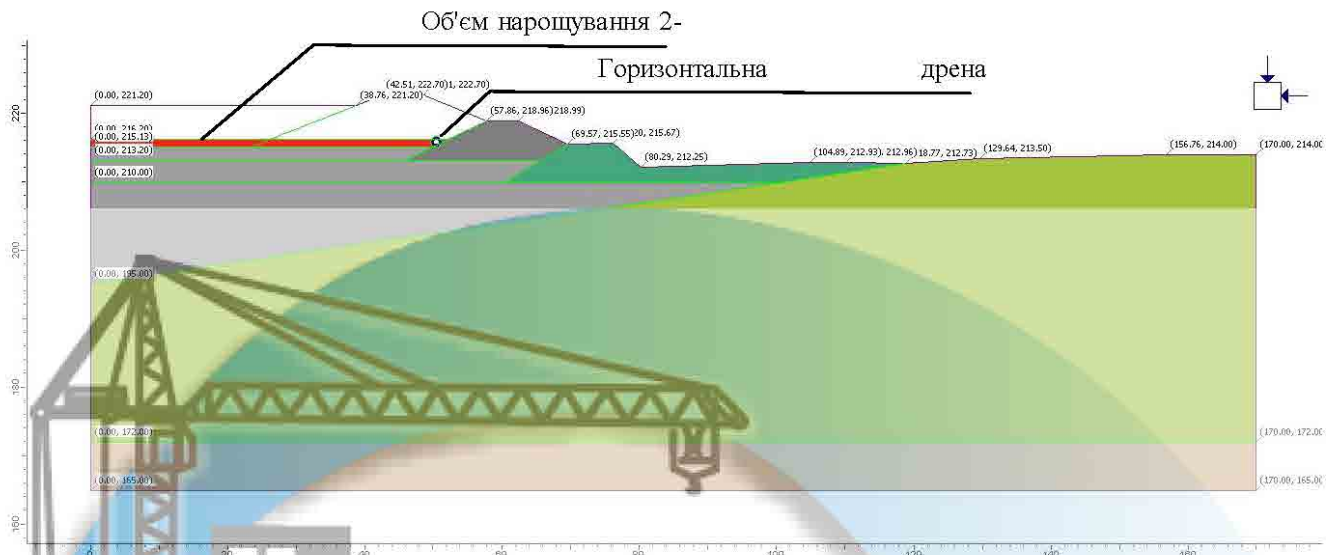


Рисунок 5.3 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 1 (лівий борт), розрахунковий профіль 3-3

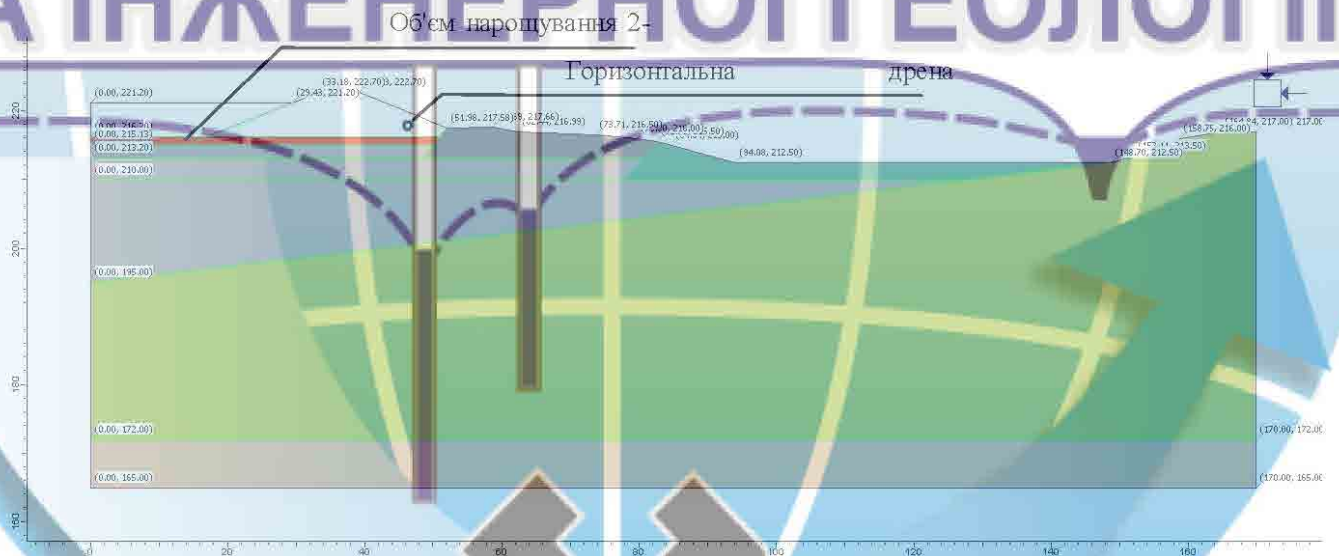


Рисунок 5.4 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 1 (лівий борт), розрахунковий профіль 4-4



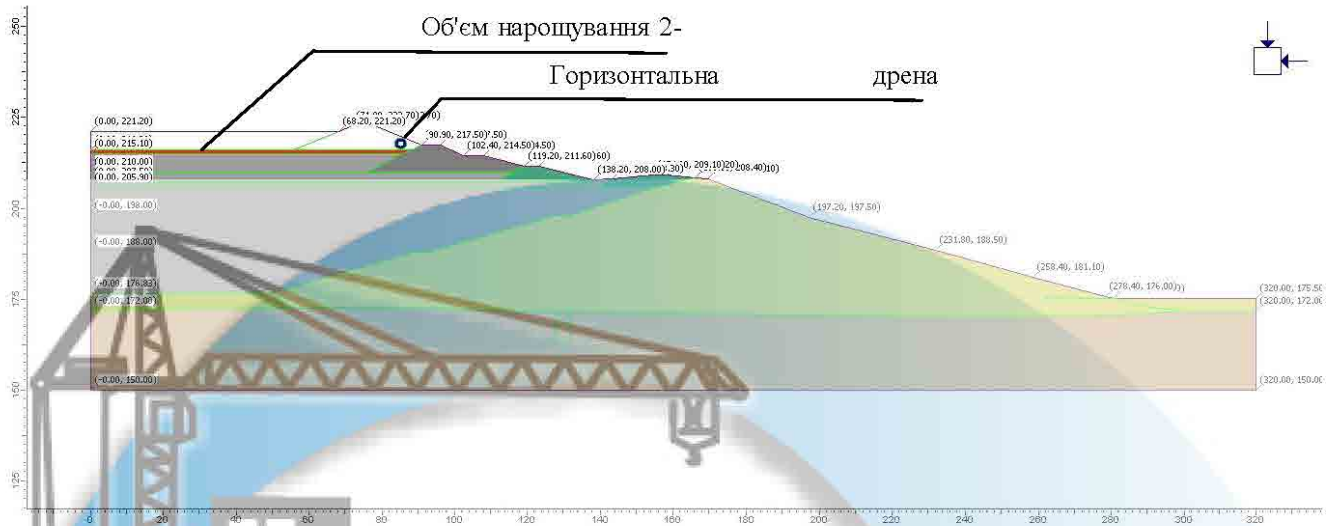


Рисунок 5.5 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 1 (низова гребля), розрахунковий профіль 5-5

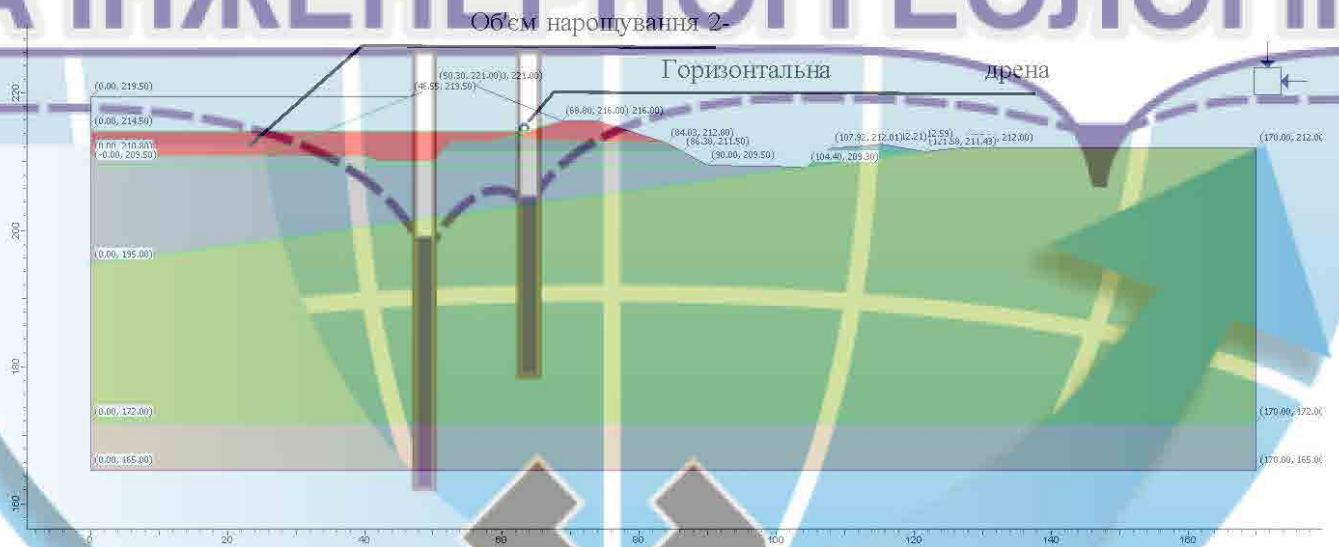


Рисунок 5.6 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 2 (правий борт), розрахунковий профіль 6-6

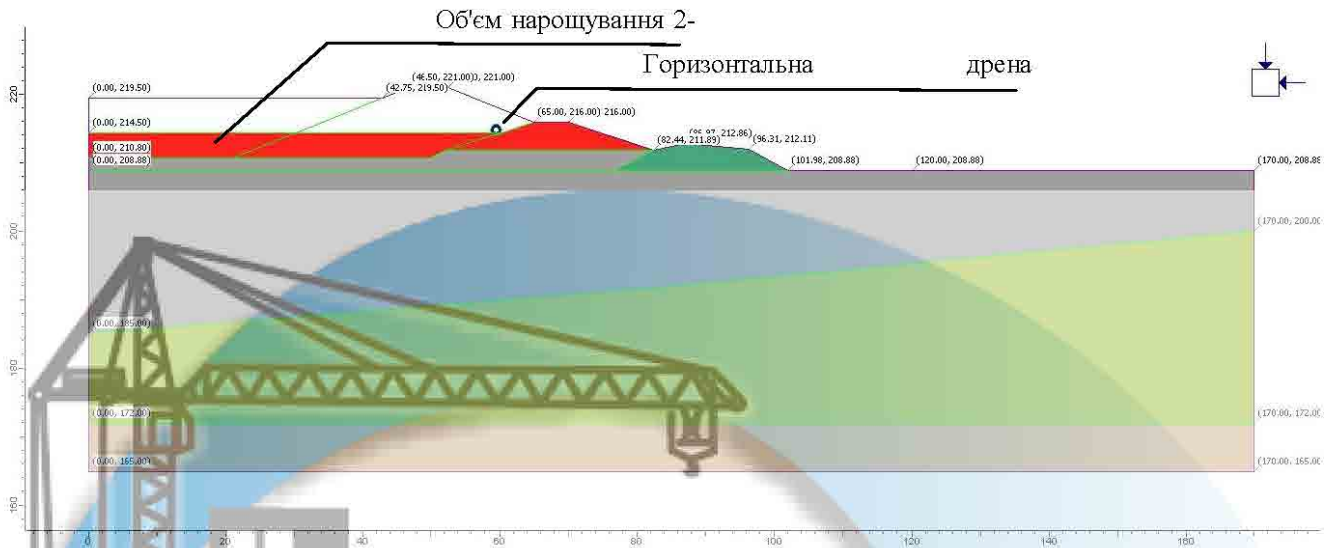


Рисунок 5.7 – Схема до визначення положення горизонтального трубчатого дренажу, секція 2 (секція проясненої води), розрахунковий профіль 7-7


Для першої секції золовідвалу за умови перевищення проектною відміткою верхових ділянок горизонтальних дрен відмітки заповнення чаші золовідвалу другого ярусу наросування 216,2 м ефективна робота дренажу забезпечується при закладенні горизонтальних дрен в тілі проєктованих дамб третього ярусу наросування на відмітці 217,5 м (профіль 4-4) на відстані не менше 10,0 м від осі дамб у напрямку їх низових укосів, з поступовим виходом низових ділянок дрен на контур дамб другого ярусу наросування з відміткою в чаші золовідвалу 215,2 м (профіль 3-3).

Для другої секції золовідвалу робота дренажних споруд забезпечується при закладенні горизонтальних дрен по внутрішньому контуру дамб другого ярусу наросування в інтервалі відміток існуючого заповнення чаші золовідвалу і відміток другого ярусу наросування. При довжині дрен близько 980 і 1170 м відповідно для лівого та правого бортів секції і ухилі дрен не менше  $i = 0,002$  інтервал їх закладення визначається відмітками 213,5 і 215,5 м відповідно для низових і верхових ділянок дрен.

В цілому, робота проєктованих дренажних споруд окрім підвищення загальної гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних дамб буде сприяти запо-



біганню розвитку суфозійних і ерозійних процесів в укосах дамб золовідвалу першого і другого ярусів нарощування після досягнення проектних відміток складування золошлакоматеріалів в об'ємі третього ярусу нарощування, а також зменшенню фільтраційних втрат за межі огорожувальних споруд золовідвалу.



# КАФЕДРА ГІДРОГЕОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

## ВИСНОВКИ

Аналіз геолого-гідрогеологічних і інженерно-геологічних умов досліджуваної території, результатів моделювання гідродинамічного режиму підземних вод, а також даних розрахунків гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС, дозволив зробити наступні висновки.

1. Геологічна будова і інженерно-геологічні умови досліджуваної території визначаються повсюдним поширенням нижньо-верньочетвертинних лесовидних відкладень, а також наявністю потужної обводненої товщі сучасних техногенних утворень, представлених складованими до золовідвалу золою і золошлаковим матеріалом, що визначає загальну гідрогеомеханічну стійкість ділянки золовідвалу і проєктованих гідротехнічних споруд.

2. Гідрогеологічні умови ділянки золовідвалу характеризуються розвитком четвертинного і неогенового водоносних горизонтів, а також водоносного горизонту тріщинної зони кристалічного масиву, гідравлічно зв'язаних з обводненими техногенними відкладеннями складованих до балки золошлакоматеріалів, що визначає роль останніх у формуванні гідродинамічного режиму ділянки золовідвалу.

3. Прогнозна оцінка гідродинамічного режиму в умовах проєктованого нарощування дамб третього ярусу золовідвалу до відміток 222,7 і 221,0 м із заповненням чаші золовідвалу до відміток 221,2 і 219,5 м відповідно для першої і другої секцій свідчить про очікуваний підйом рівня води безпосередньо навколо золовідвалу з можливим підтопленням і затопленням незавершених дамб першого і другого ярусу нарощування.

4. Фільтраційні втрати із чаші золовідвалу, оцінені за результатами геофільтраційного моделювання, для існуючого стану огорожувальних споруд і відміток заповнення чаші золовідвалу становлять 990,01 м<sup>3</sup>/добу (11,46 л/с), а в умовах нарощування третього ярусу золовідвалу на кінцевий період експлуатації золовідвалу 5 років (2000 діб) їх величина складає 1334,84 м<sup>3</sup>/добу (15,45



л/с); характерним для ділянки золовідвалу є поступове зменшення фільтраційних втрат, величина яких на розрахункові періоди 10 і 25 років від початку будівництва становлять відповідно 1195,43 і 1163,84 м<sup>3</sup>/добу (13,84 і 13,47 л/с).

5. Гідрогеомеханічна стійкість огорожувальних споруд золовідвалу в умовах нарощування третього ярусу на ділянці низової греблі визначається: стійкістю самої греблі і залежить від фізико-механічних властивостей і стану насипних суглинків в її тілі та розподілу і величини гідравлічних напорів, а стійкість огорожувальних дамб в межах першої і другої секцій золовідвалу – наявністю в їх основі золи і впливом розподілу гідравлічних напорів (порового тиску) в тілі дамб.

6. Згідно з результатами статичних розрахунків, отримані значення коефіцієнтів запасу стійкості для всіх профілів, крім профілю 6-6 (секція № 2, правий борт золовідвалу), перевищують нормоване значення коефіцієнта стійкості, визначене для основного сполучення навантажень  $[k_s] = 1,20$ .

7. Встановлені за результатами динамічних розрахунків значення коефіцієнтів стійкості відповідно до критичних поверхонь ковзання для часових інтервалів землетрусу, як і у випадку статичних розрахунків для основного сполучення навантажень, також перевищують нормоване значення для аварійного сполучення навантажень, рівне  $[k_s] = 1,02$ . Виключенням є профілі 6-6 та 7-7 (секція № 2, правий борт золовідвалу і секція проясненої води), для яких отримані значення коефіцієнту стійкості, менші за нормоване для аварійного сполучення навантажень у випадку розрахункового максимального землетрусу.

8. Забезпечення гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд в умовах проєктованого нарощування третього ярусу золовідвалу ДТЕК Ладжинська ТЕС при закладенні укосів огорожувальних дамб 1:2,5 і щільності золошлакового матеріалу  $\rho_r = 1,72 \text{ т/м}^3$  (розрахункове значення щільності сухого золошлакового матеріалу  $\rho_d = 1,43 \text{ т/м}^3$ ) досягається при спорудженні в основі низового укосу дамб нарощування самотічного трубчатого горизонтального дренажу.

9. Закладення горизонтального дренажу необхідно виконувати по зовнішньому периметру золовідвалу за виключенням розділяючої дамби між першою та другою секціями; відносне положення горизонтального дренажу визначається поверхнею сполучення проєктованих дамб нарощування третього ярусу золовідвалу з верховим укосом дамб другого ярусу золовідвалу.

10. З урахуванням необхідного ухилу самотічного горизонтального трубчатого дренажу не менше  $i = 0,002$  і неперевищення проєктних відміток дренажного водозниження в тілі огорожувальних дамб його закладення доцільно виконувати відносно існуючого заповнення чаші золовідвалу на відмітках від 215,2 і 213,5 м на низових ділянках дрен відповідно для першої і другої секцій до 217,5 і 215,5 м – на їх верхових ділянках при довжині дрен близько 1090 і 1140 м для першої і 980 і 1170 м – для другої секцій золовідвалу.

11. Виконані розрахунки горизонтального трубчатого дренажу за умови закладення його в основі низового укосу дамб третього ярусу нарощування показали, що при роботі горизонтального дренажу забезпечується додатковий запас гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу на рівні не менше  $[k_s] = 1,20$  і  $[k_s] = 1,02$  відповідно для основного і аварійного сполучення навантажень на рівні максимального розрахункового землетрусу.

12. Величини питомого дренажного водовідбору, встановлені за результатами кінцево-елементних рішень профільних геофільтраційних задач при діаметрі труб горизонтального дренажу  $D_m = 200$  мм, змінюються в діапазоні  $q_d = 0,011 \dots 0,023$  м<sup>3</sup>/год на 1 м (0,0031...0,0065 л/с на 1 м) для розрахункових профілів огорожувальних споруд секцій № 1 і № 2 золовідвалу.



## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Опублікованої

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

16. 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.

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

18. 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.

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

#### **Фондової**

20. Ладыжинская ГРЭС. Проектное видение. Материалы изысканий. Часть III. Инженерно-геологические условия участков гидротехнических сооружений. Книга 1 / Проектный институт "ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ". – Киев, 1967.

21. Отчет об инженерно-геологических изысканиях золоотвала Ладыжинской ГРЭС / Проектный институт "ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ". – Киев, 1969.



22. Отчет об инженерно-геологических изысканиях для ТЭО нового золотвала Ладыжинской ГРЭС / Проектный институт "ТЕПЛОЭЛЕКТРОПРОЕКТ". – Киев, 1974.

23. Ладыжинська ТЕС. Проектні пропозиції до коректування робочого проекту нарощування дамб золівдвалу. Пояснювальна записка і креслення. 14.ПП.№113007 ПЗ / ВАТ "ЛВІВТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ". – Львів: 1999.

24. Ладыжинська ТЕС. Коректування робочого проекту нарощування дамб золівдвалу. Пояснювальна записка і креслення. 67.П.140-99-ПЗ. Том 1 / Інжинірингова фірма "ТЕПЛОЕЛЕКТРОПРОЕКТ". – Київ: 2000.

25. Звіт "Розробка проекту реконструкції золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Нарощування 3-го ярусу секцій №1 і №2. Комплексні інженерно-геологічні та інженерно-геодезичні вишукування на території золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Топографо-геодезична зйомка М 1:1000". Шифр 335-17/1-ІГД / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС". – Дніпро: 2017. – 15 с.

26. Звіт "Розробка проекту реконструкції золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Нарощування 3-го ярусу секцій №1 і №2. Комплексні інженерно-геологічні та інженерно-геодезичні вишукування на території золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Інженерно-геологічні та гідрогеологічні вишукування". Шифр 335-17/2-ІГВ / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС". – Дніпро: 2017.

27. Звіт "Розробка проекту реконструкції золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Нарощування 3-го ярусу секцій №1 і №2. Комплексні інженерно-геологічні та інженерно-геодезичні вишукування на території золівдвалу Ладыжинської ТЕС. Сейсмічне мікрорайонування. Розрахункові акселерографи". Шифр 335-17/1-СМР\_А / ТОВ "ФУНДАМЕНТСТРОЙМАКС". – Дніпро: 2017. – 65 с.

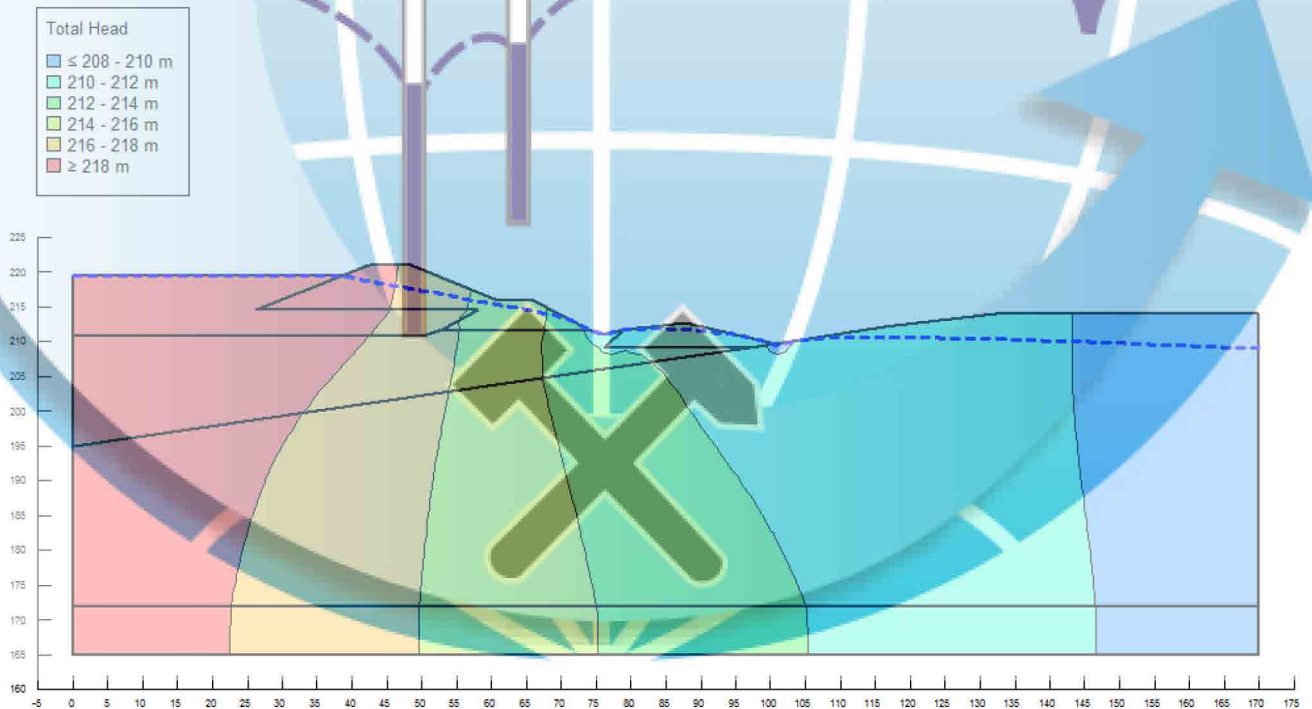




Додаток 1. Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості  
огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 1-1



споруд золовідвалу (профіль 1-1)



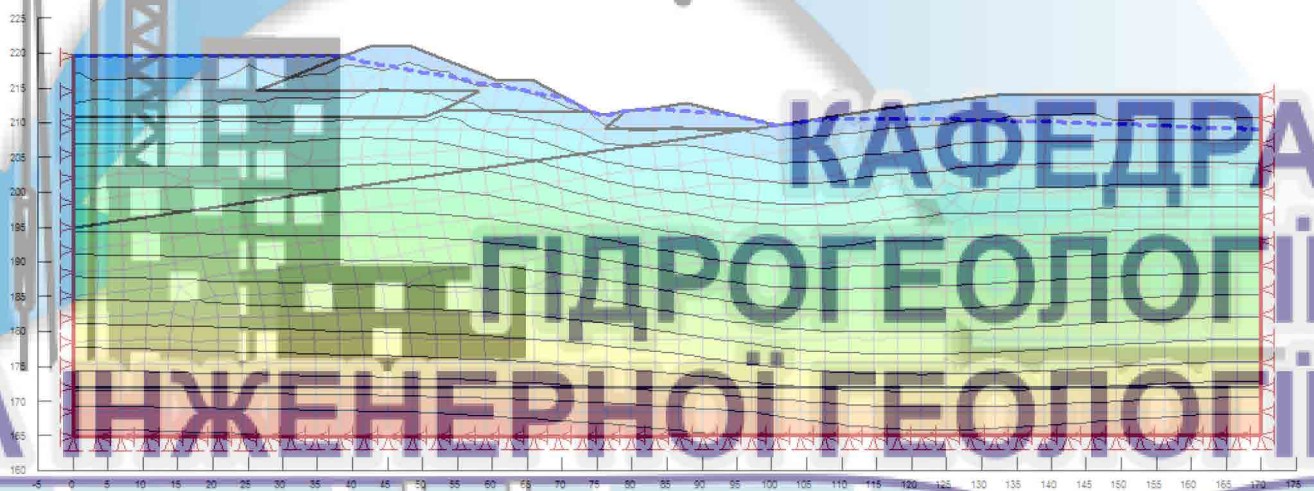
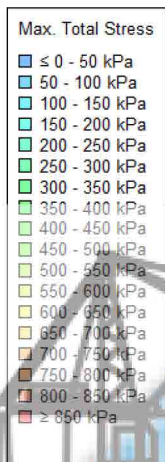


Рисунок Д.1.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 1-1), статичний розрахунок

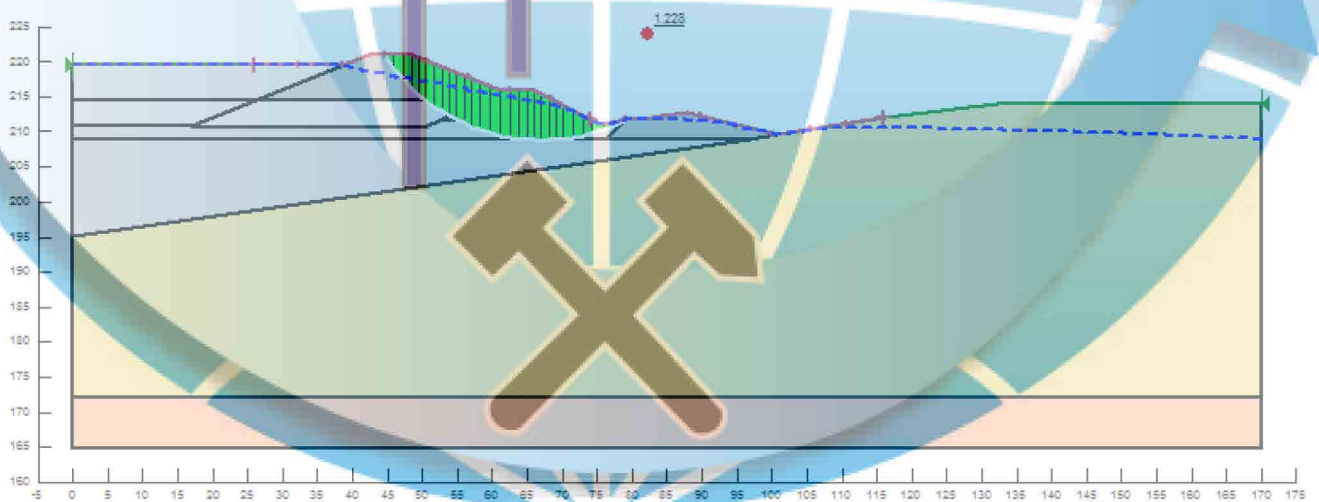


Рисунок Д.1.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 1-1):  $k_s = 1,228$ , статичний розрахунок



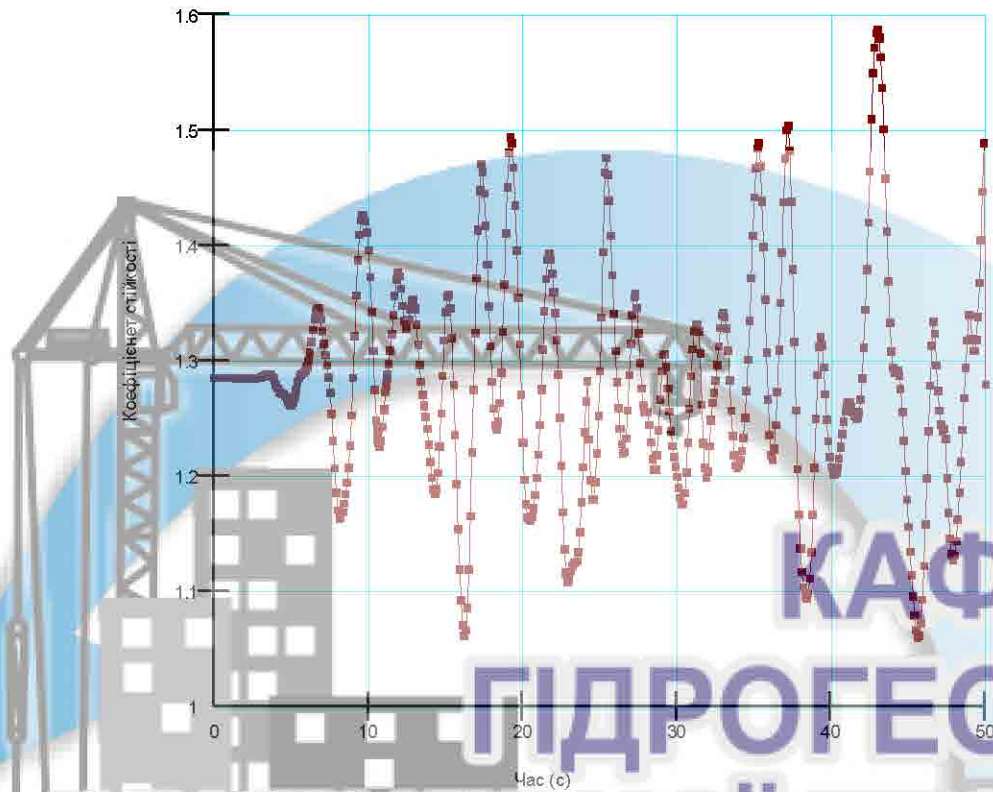


Рисунок Д.1.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 1-1):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

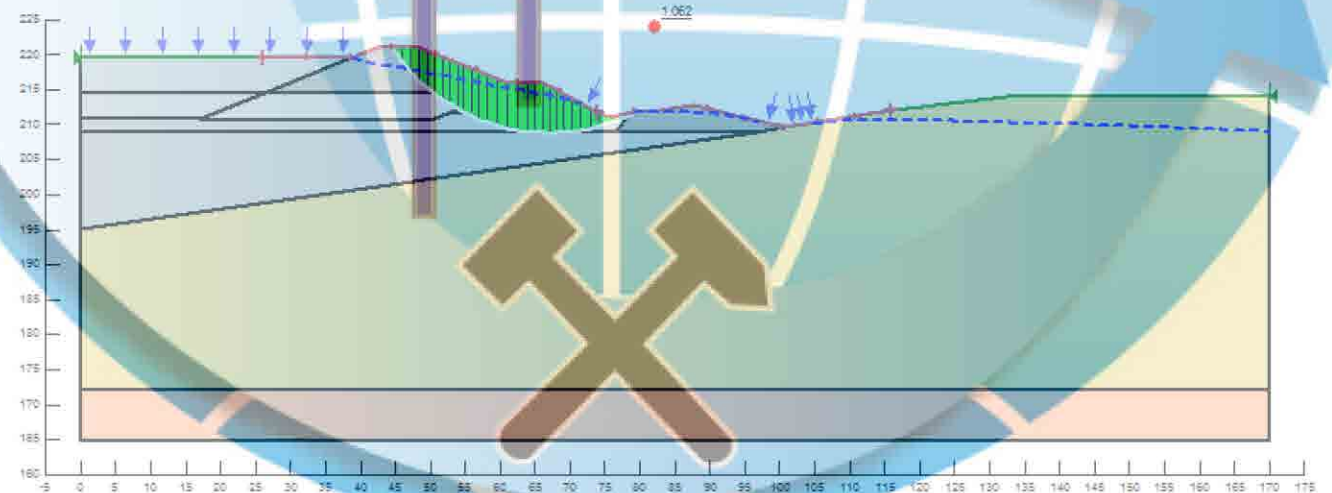


Рисунок Д.1.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 16,2 с (профіль 1-1) –  $k_s = 1,062$ , динамічний розрахунок

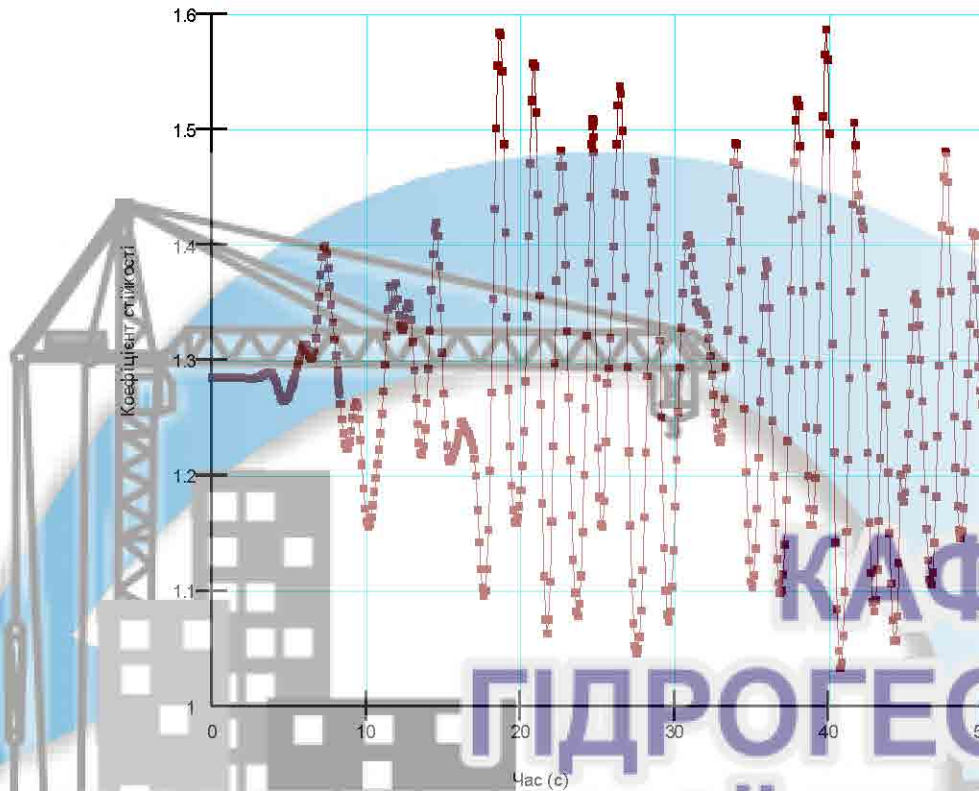


Рисунок Д.1.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 1-1):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок



Рисунок Д.1.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 40,7 с (профіль 1-1) –  $k_s = 1,034$ , динамічний розрахунок



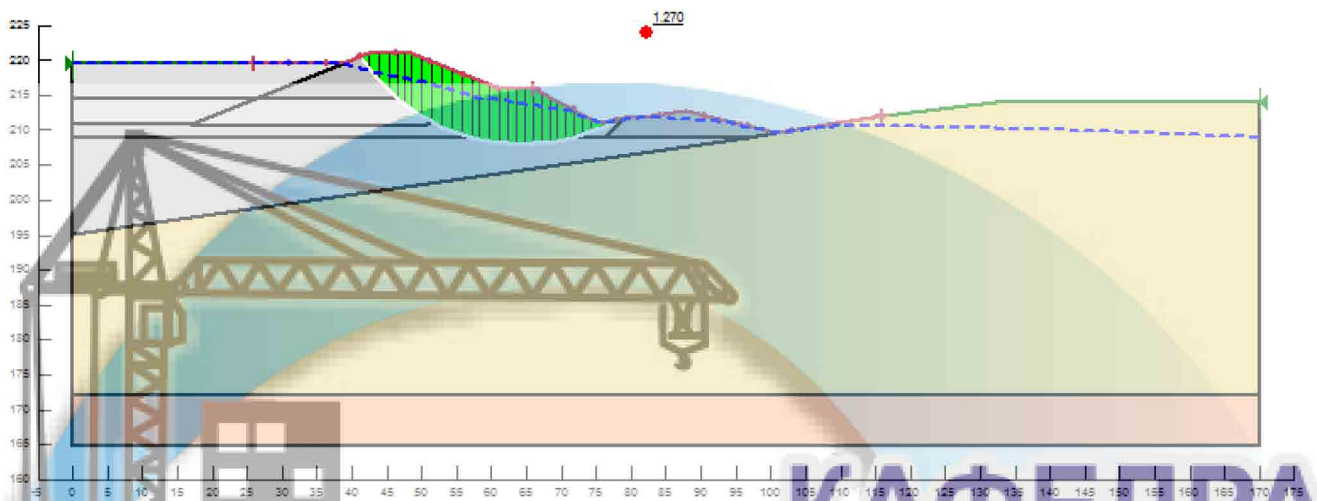


Рисунок Д.1.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 1-1) –  $k_s = 1,270$ , статичний розрахунок

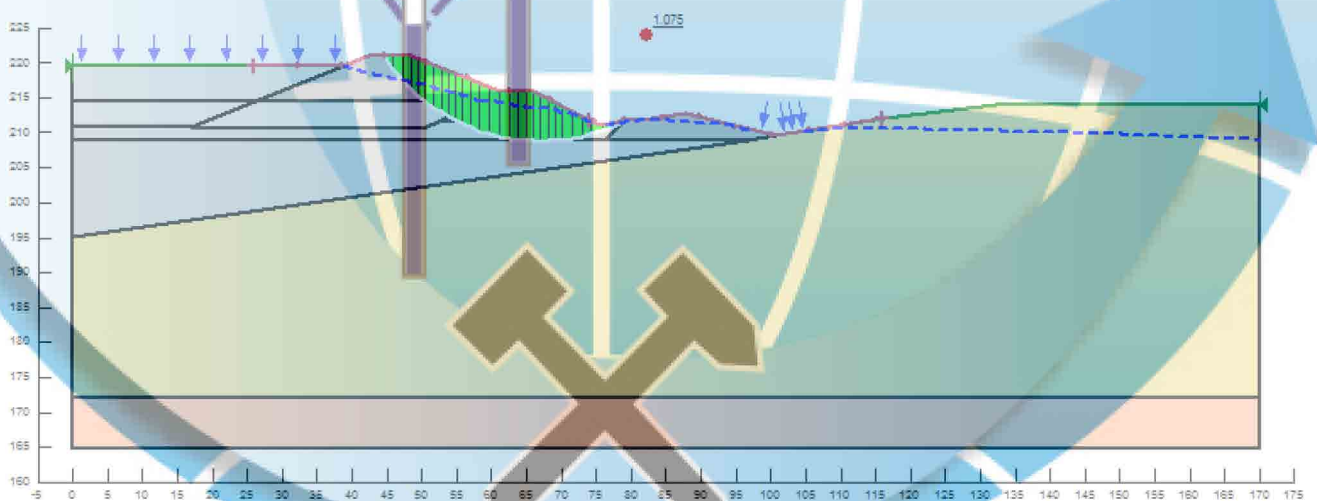


Рисунок Д.1.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 16,3 с (профіль 1-1) –  $k_s = 1,075$ , динамічний розрахунок

**Додаток 2. Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості  
огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 2-2**



Рисунок Д.2.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних споруд золовідвалу (профіль 2-2)

споруд золовідвалу (профіль 2-2)

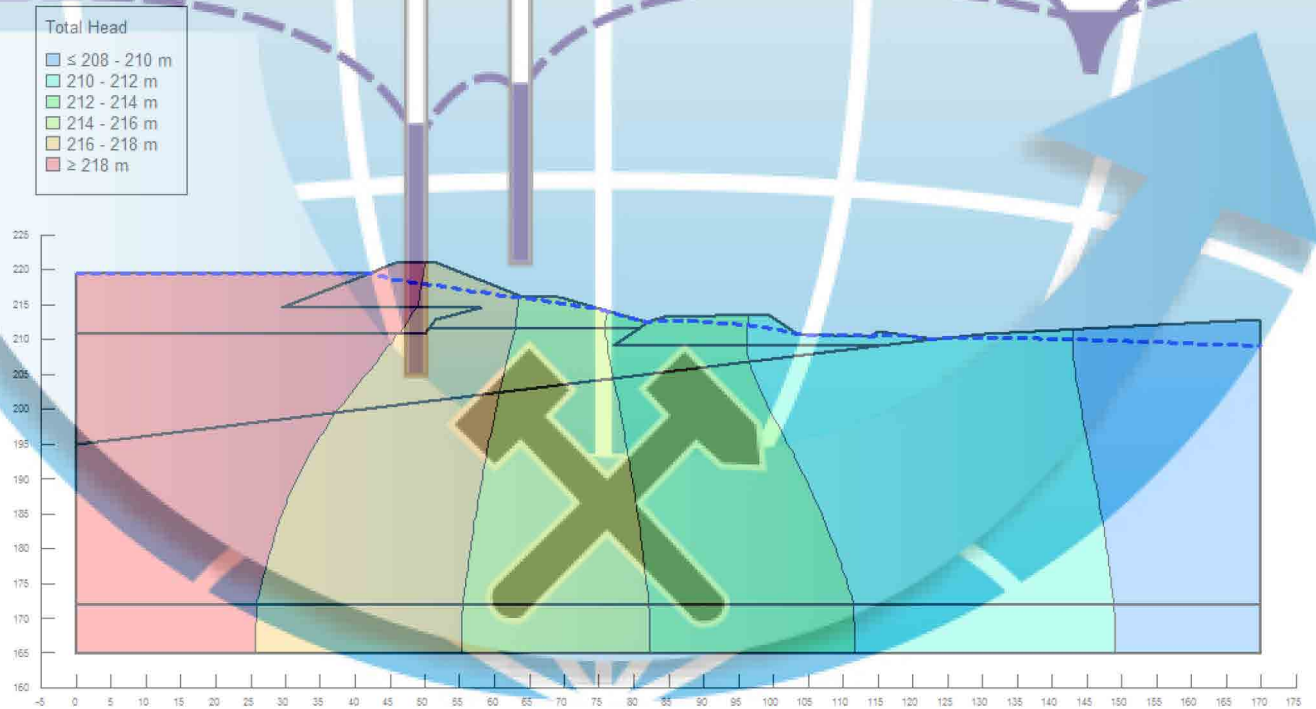


Рисунок Д.2.2 – Епюра гідравлічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 2-2), гідродинамічний розрахунок



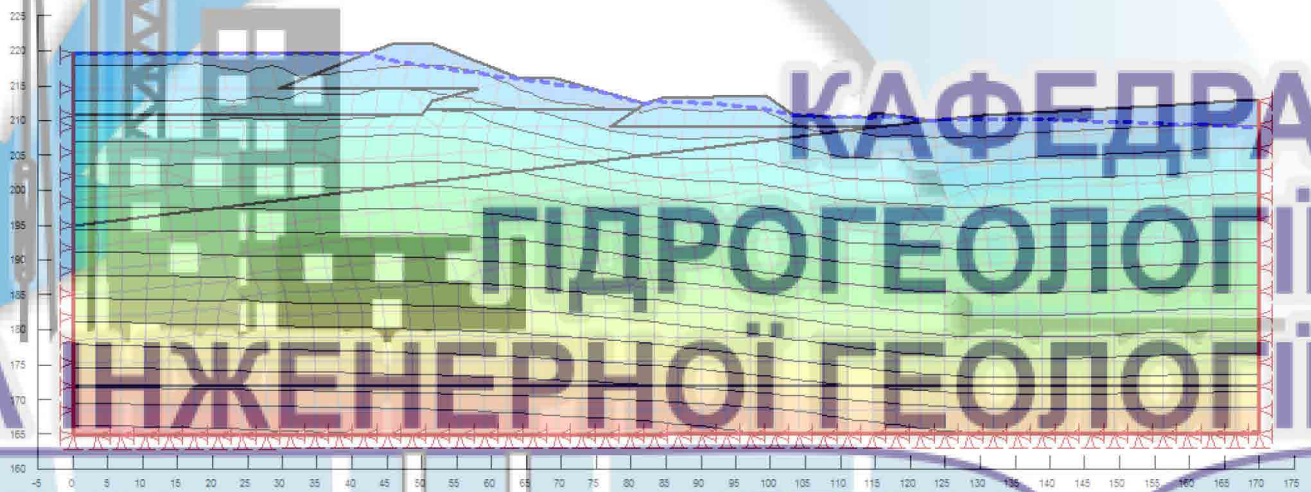
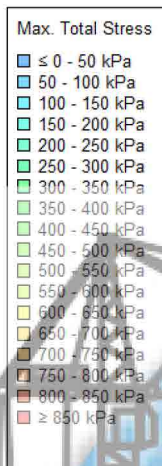


Рисунок Д.2.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 2-2), статичний розрахунок

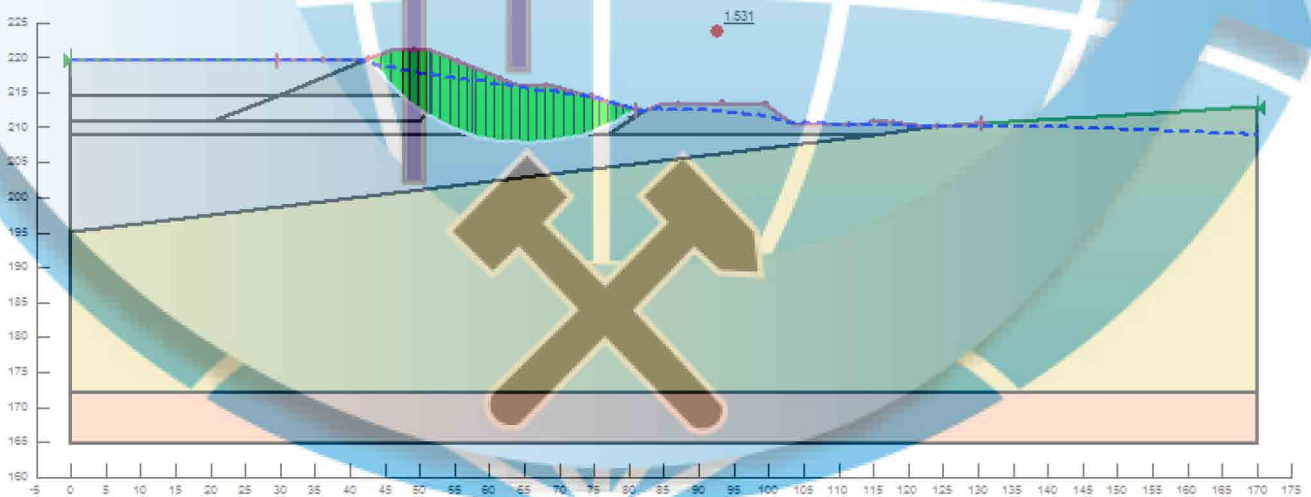


Рисунок Д.2.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 2-2):  $k_s = 1,531$ , статичний розрахунок

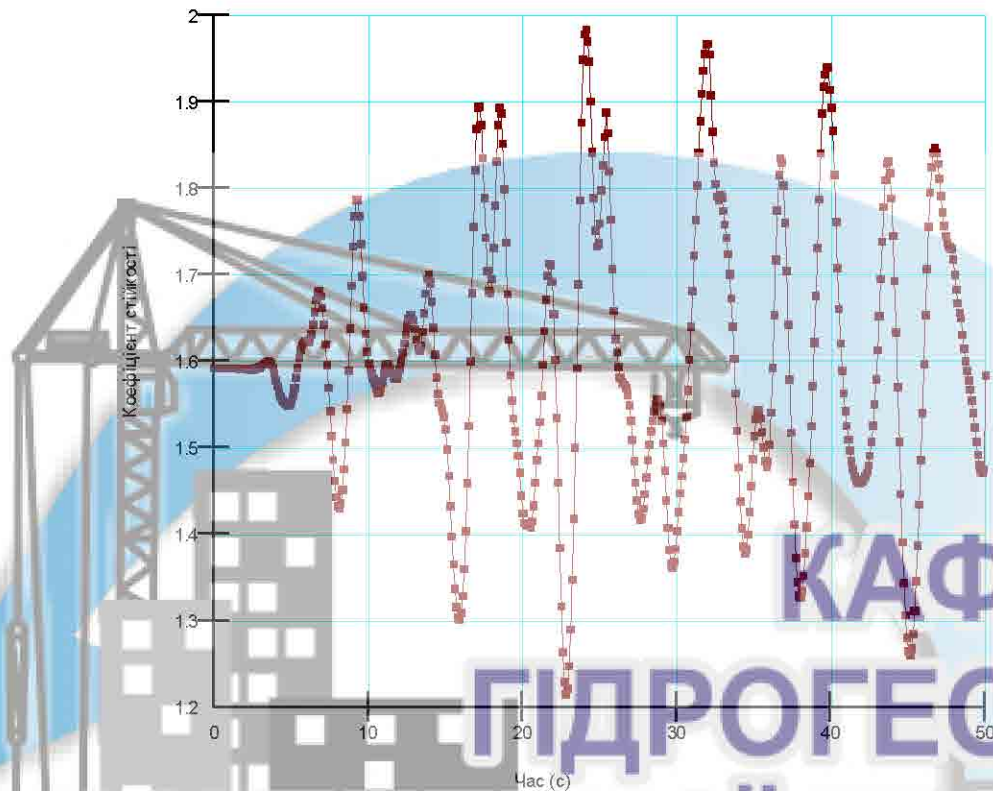


Рисунок Д.2.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 2-2):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

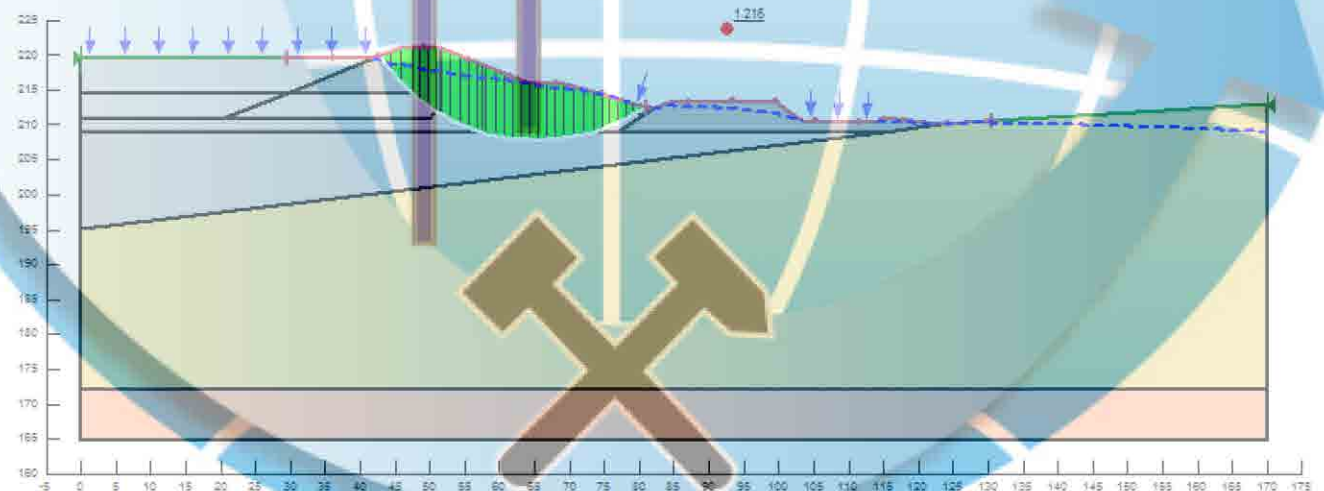


Рисунок Д.2.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 22,8 с (профіль 2-2) –  $k_s = 1,216$ , динамічний розрахунок



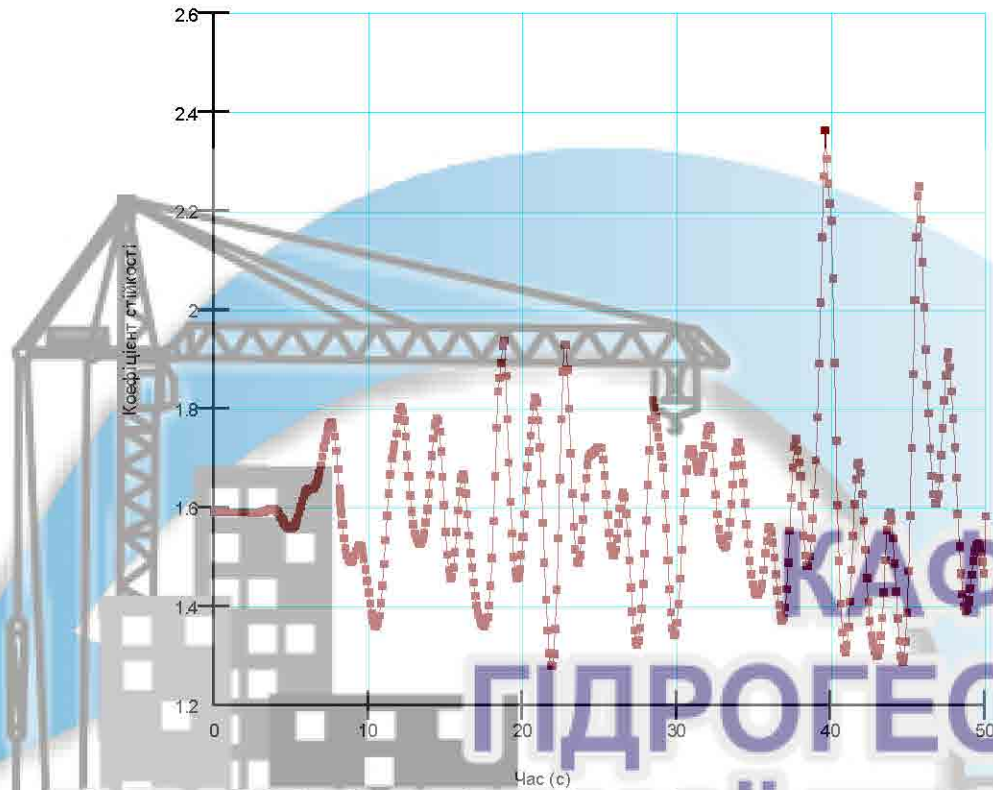


Рисунок Д.2.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 2-2):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок



Рисунок Д.2.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 21,9 с (профіль 2-2) –  $k_s = 1,281$ , динамічний розрахунок

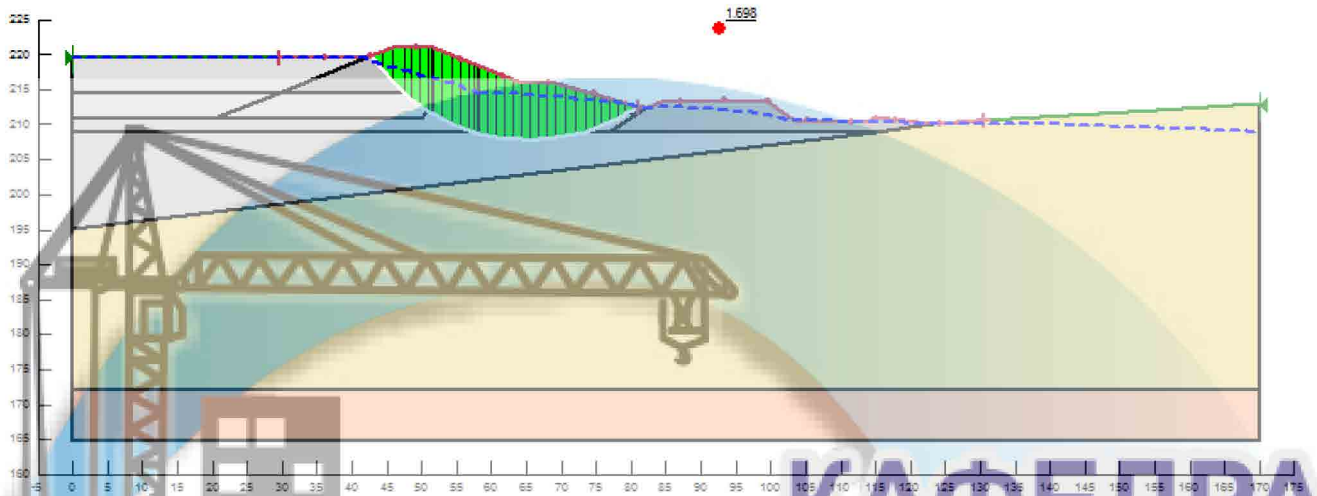


Рисунок Д.2.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 2-2) –  $k_s = 1,698$ , статичний розрахунок

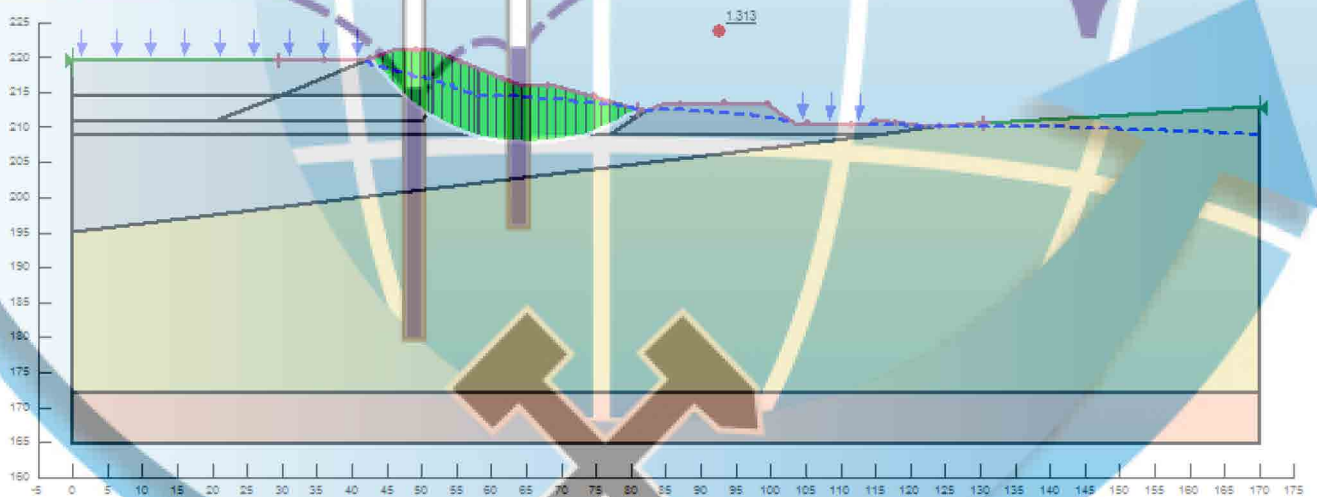


Рисунок Д.2.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 22,8 с (профіль 2-2) –  $k_s = 1,313$ , динамічний розрахунок



### Додаток 3. Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 3-3



Рисунок Д.3.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних

споруд золовідвалу (профіль 3-3)

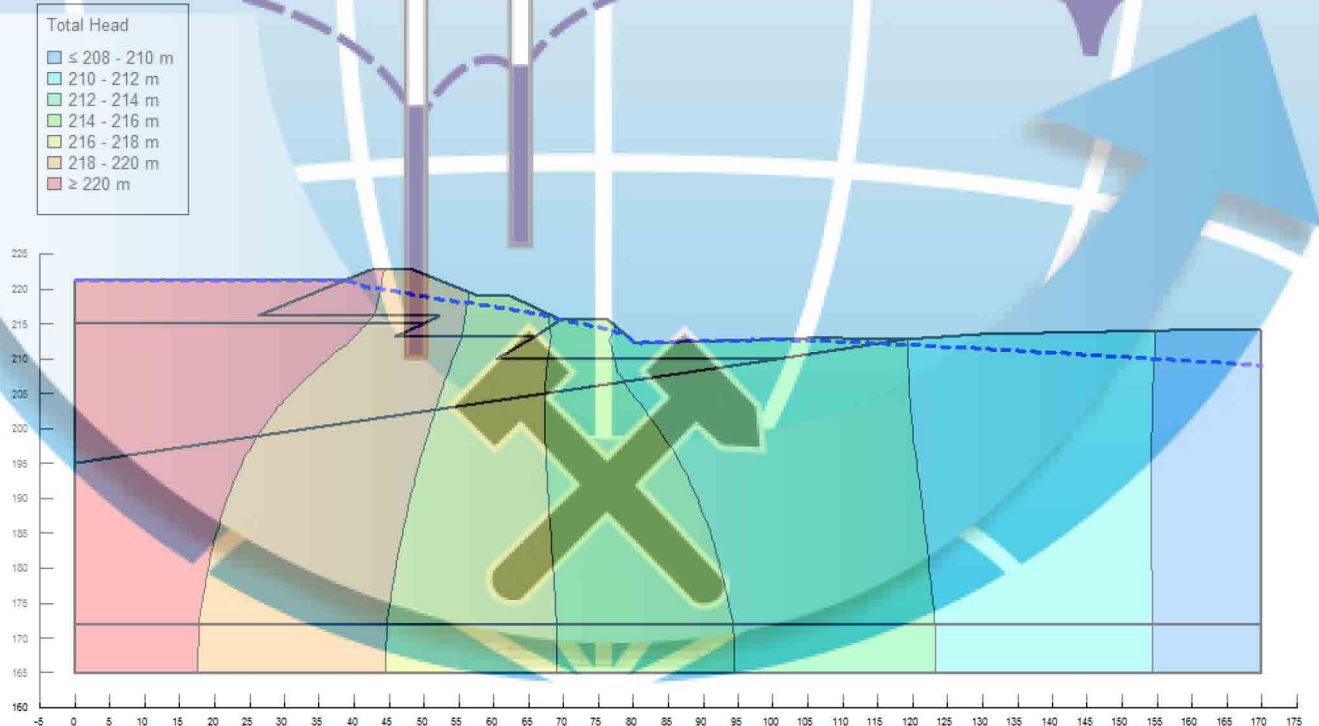


Рисунок Д.3.2 – Епюра гідралічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 3-3), гідродинамічний розрахунок

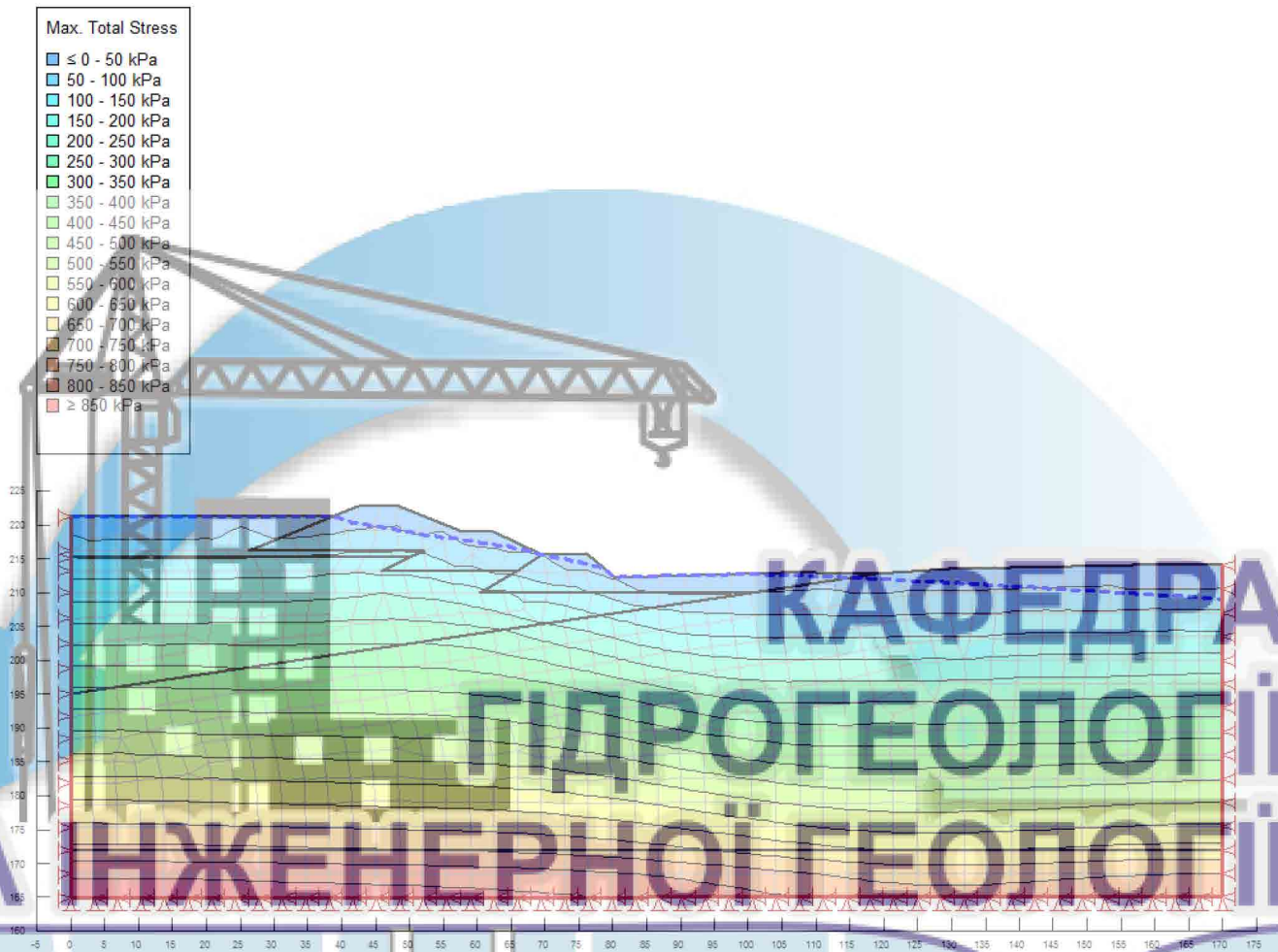


Рисунок Д.3.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 3-3), статичний розрахунок

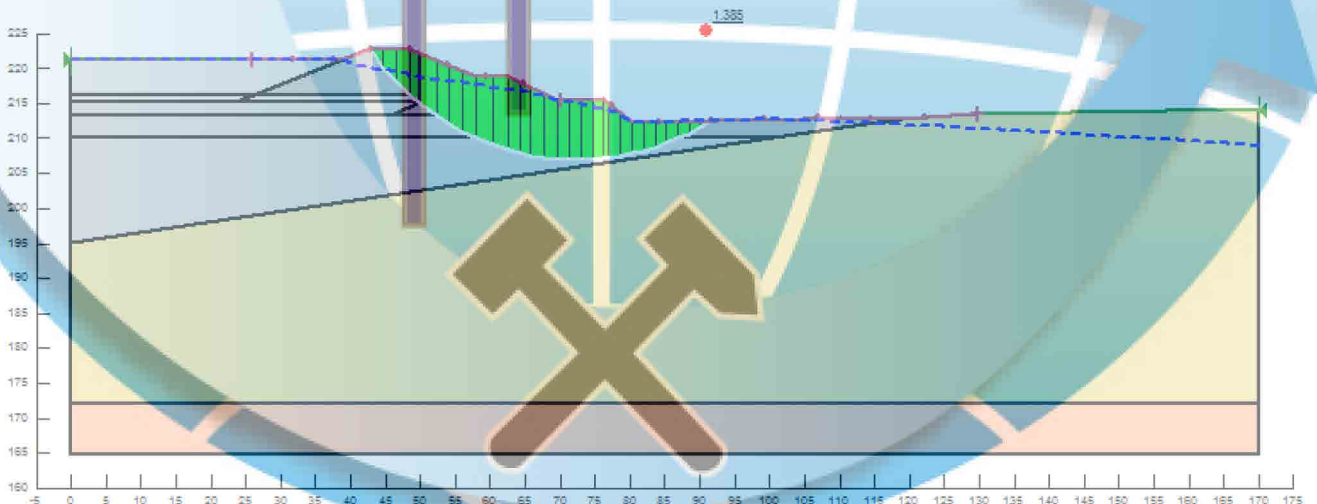


Рисунок Д.3.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 3-3):  $k_s = 1,385$ , статичний розрахунок



Factor of Safety vs. Lambda

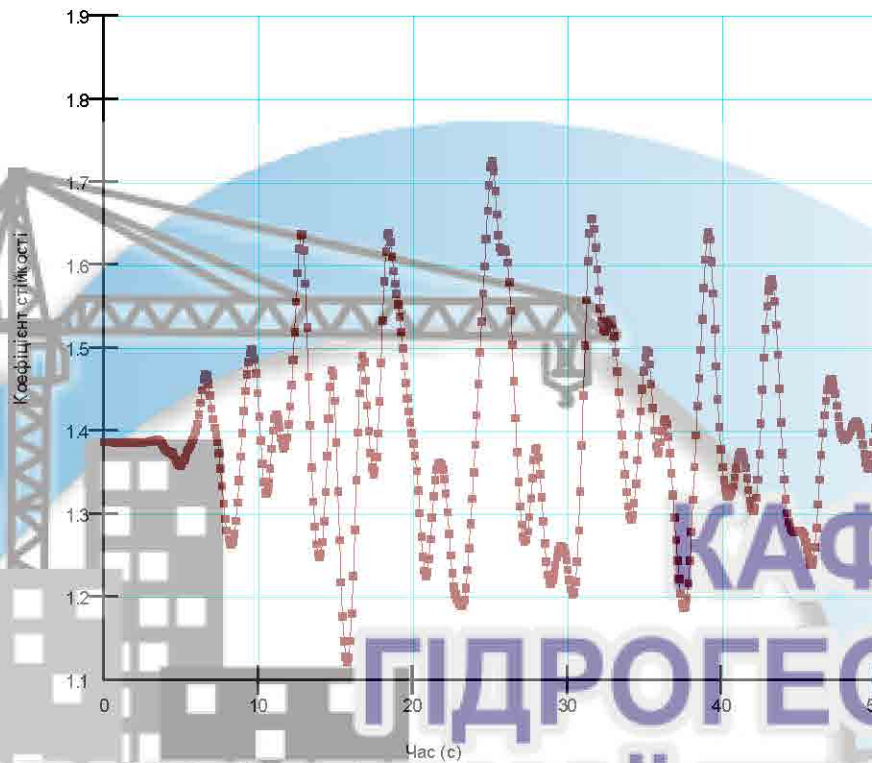


Рисунок Д.3.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 3-3):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

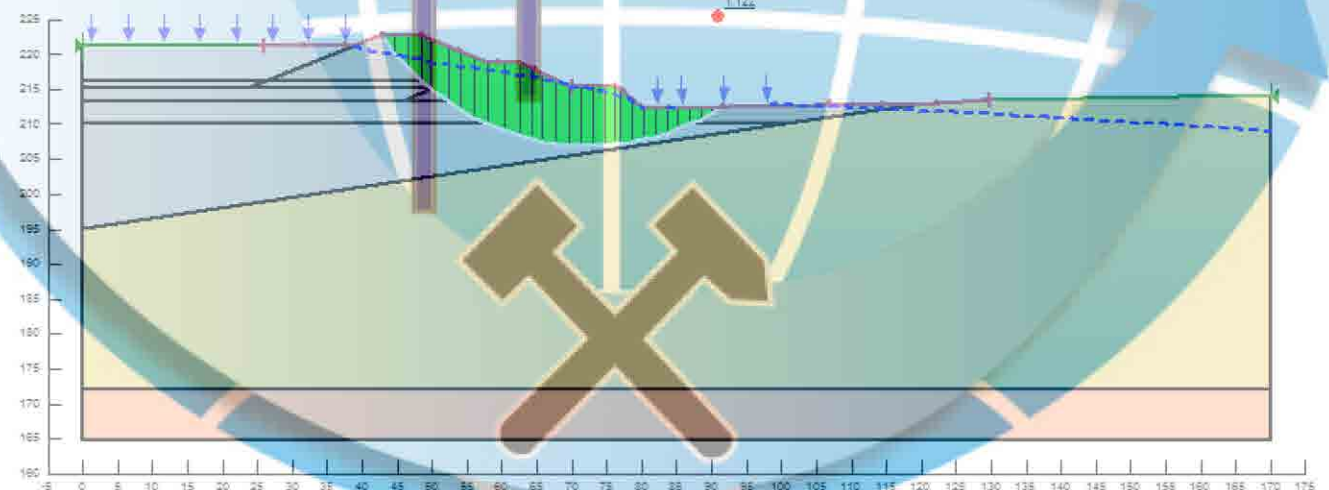


Рисунок Д.3.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 15,7 с (профіль 3-3) –  $k_s = 1,122$ , динамічний розрахунок

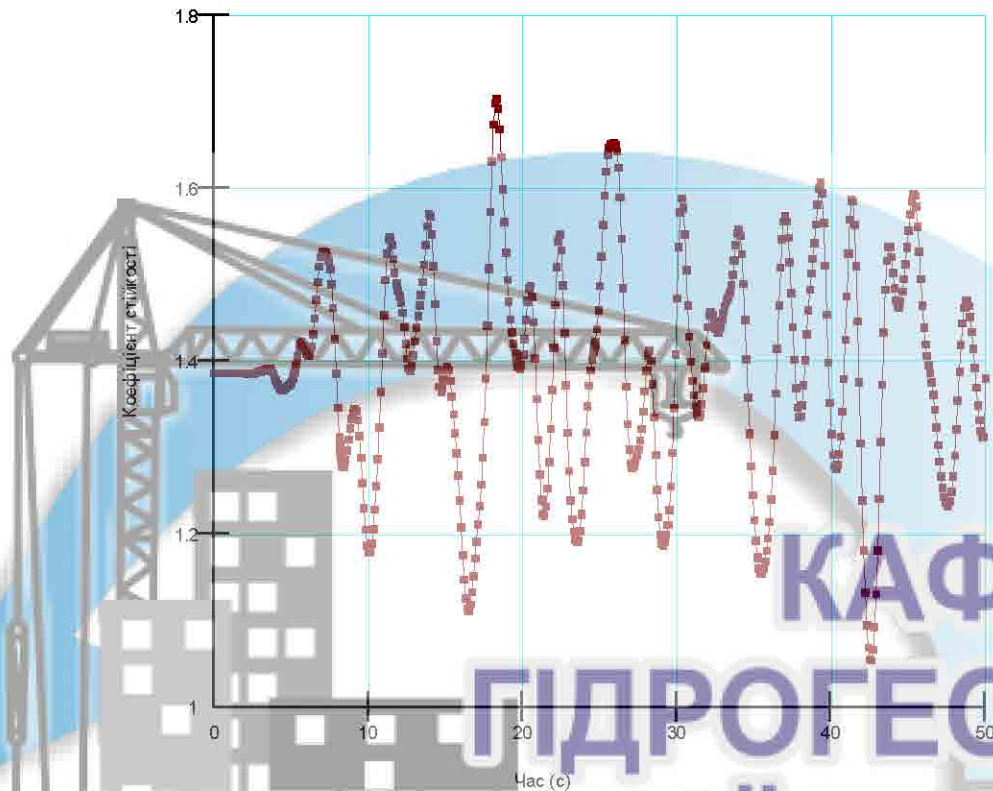


Рисунок Д.3.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду

сейсмічних коливань (профіль 3-3):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

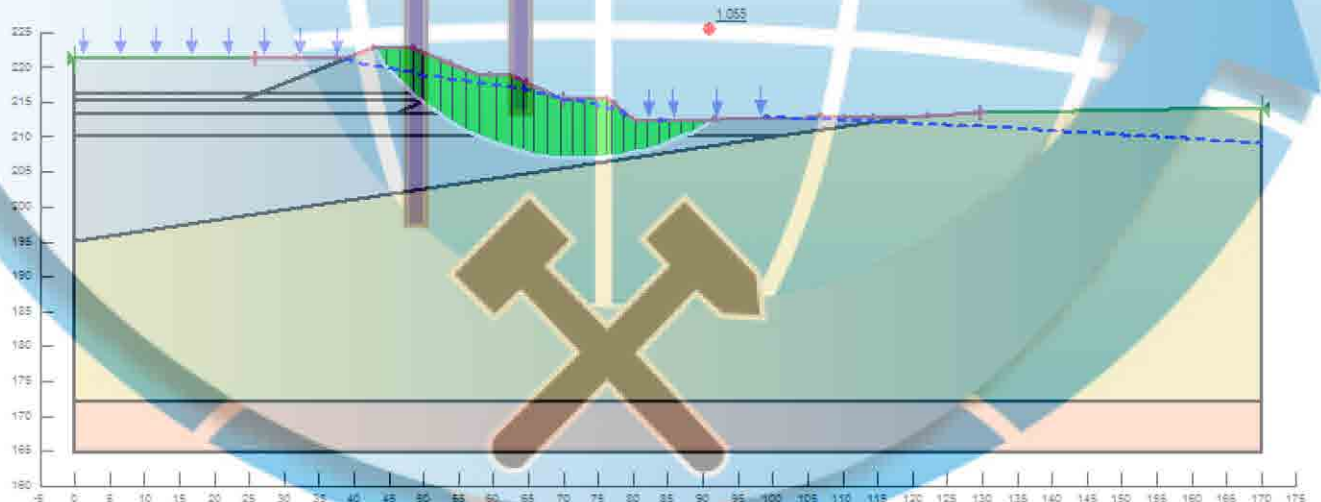


Рисунок Д.3.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 42,5 с (профіль 3-3) –  $k_s = 1,055$ , динамічний розрахунок



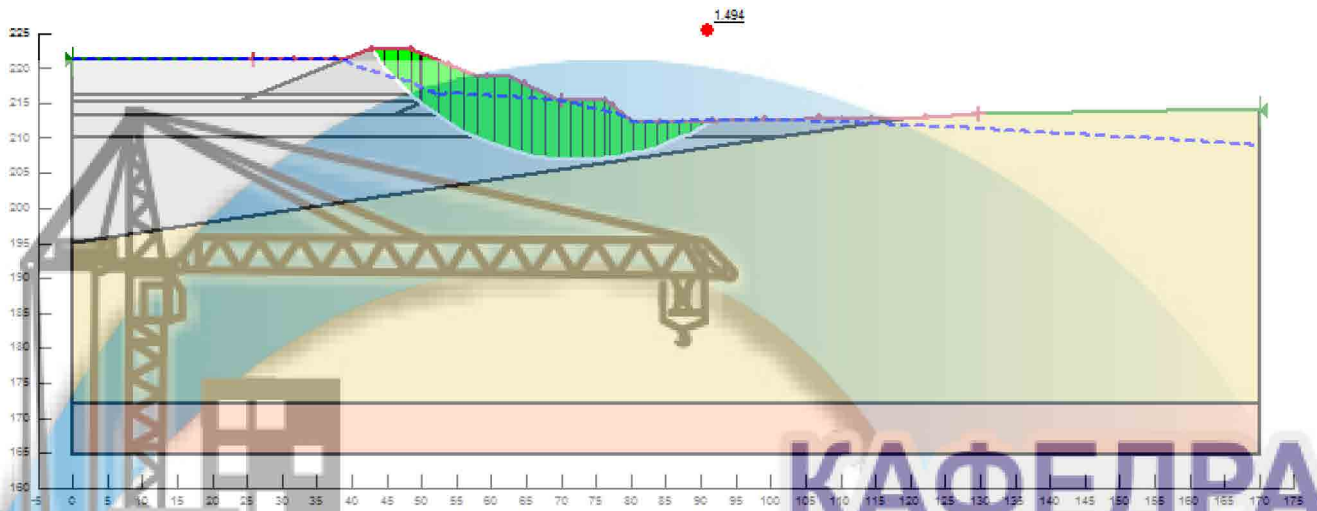


Рисунок Д.3.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 3-3) –  $k_s = 1,494$ , статичний розрахунок

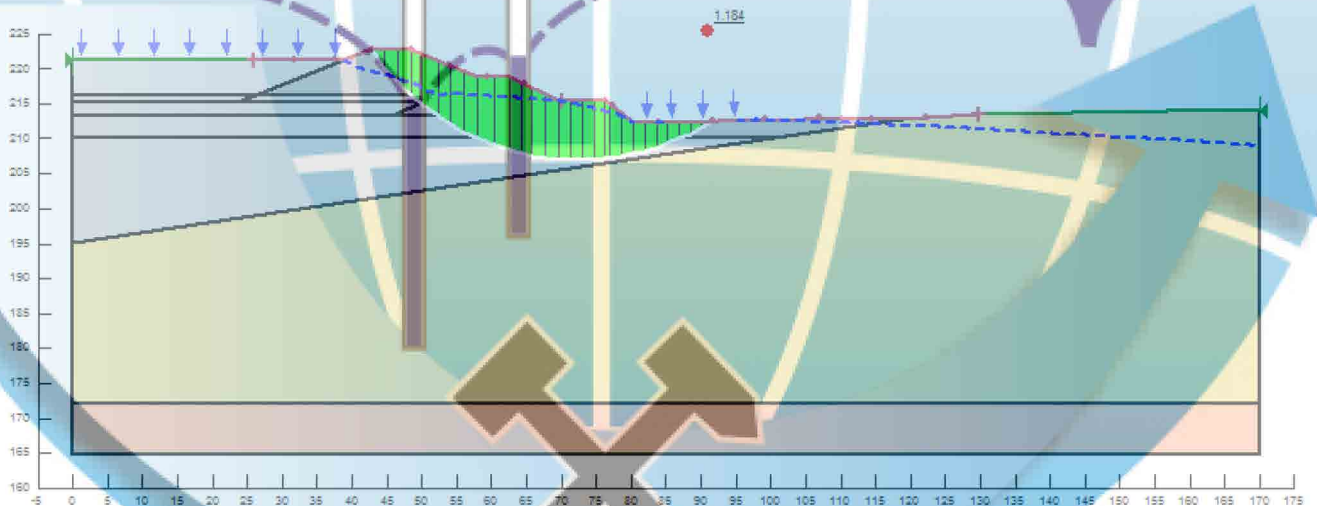


Рисунок Д.3.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 15,7 с (профіль 3-3) –  $k_s = 1,184$ , динамічний розрахунок

**Додаток 4. Результати розрахунку гідргеомеханічної стійкості  
огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 4-4**



Рисунок Д.4.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних споруд золовідвалу (профіль 4-4)

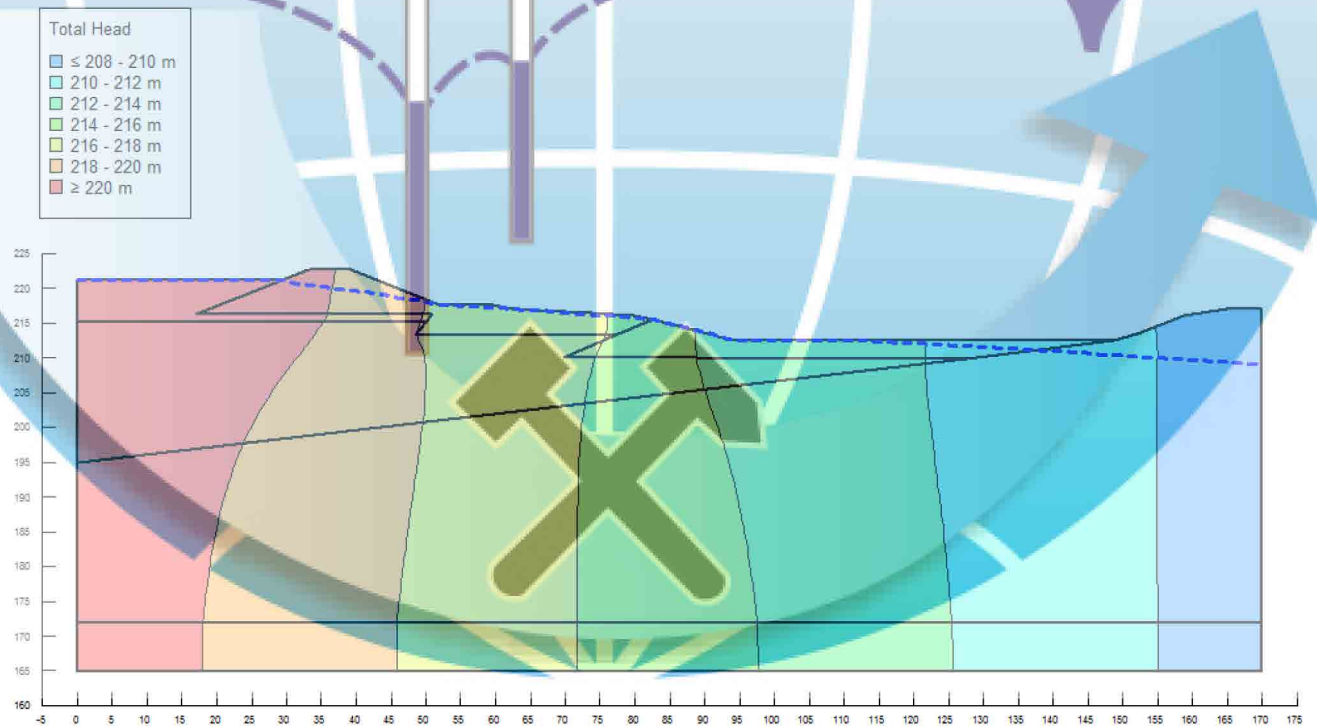


Рисунок Д.4.2 – Епюра гідралічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 4-4), гідродинамічний розрахунок



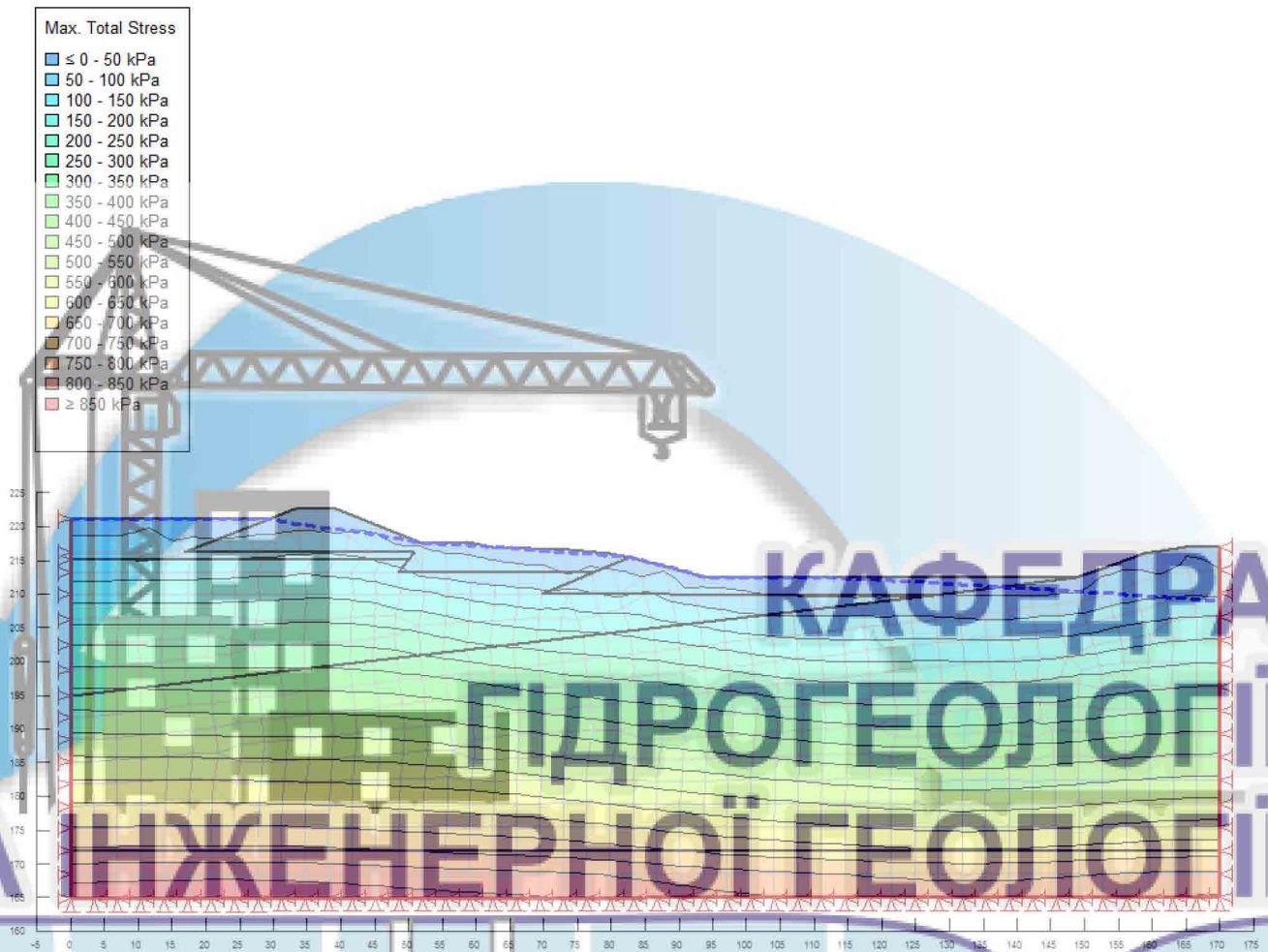


Рисунок Д.4.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 4-4), статичний розрахунок

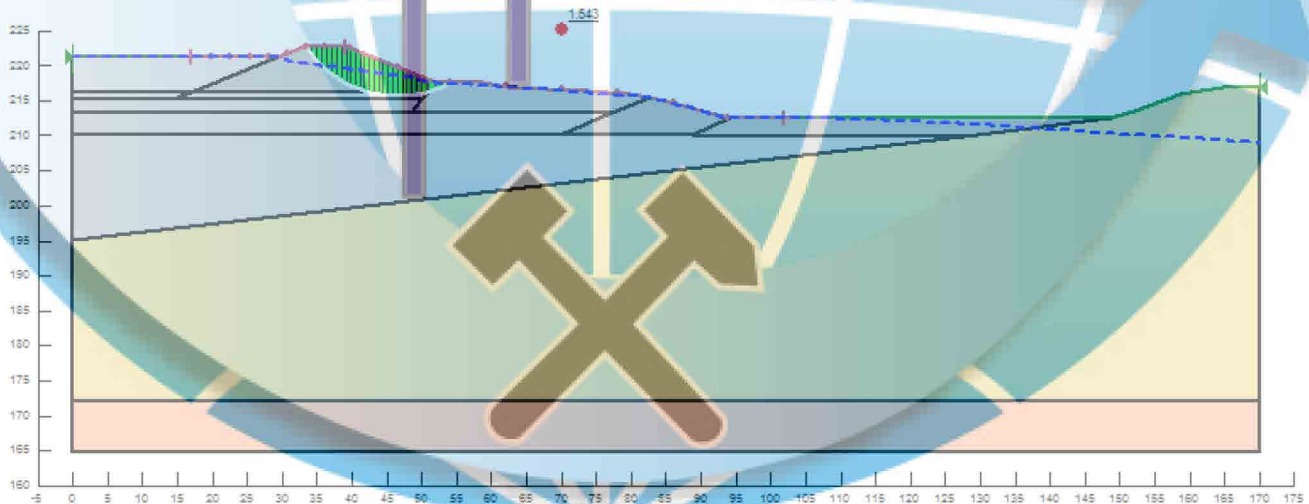


Рисунок Д.4.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 4-4):  $k_s = 1,543$ , статичний розрахунок

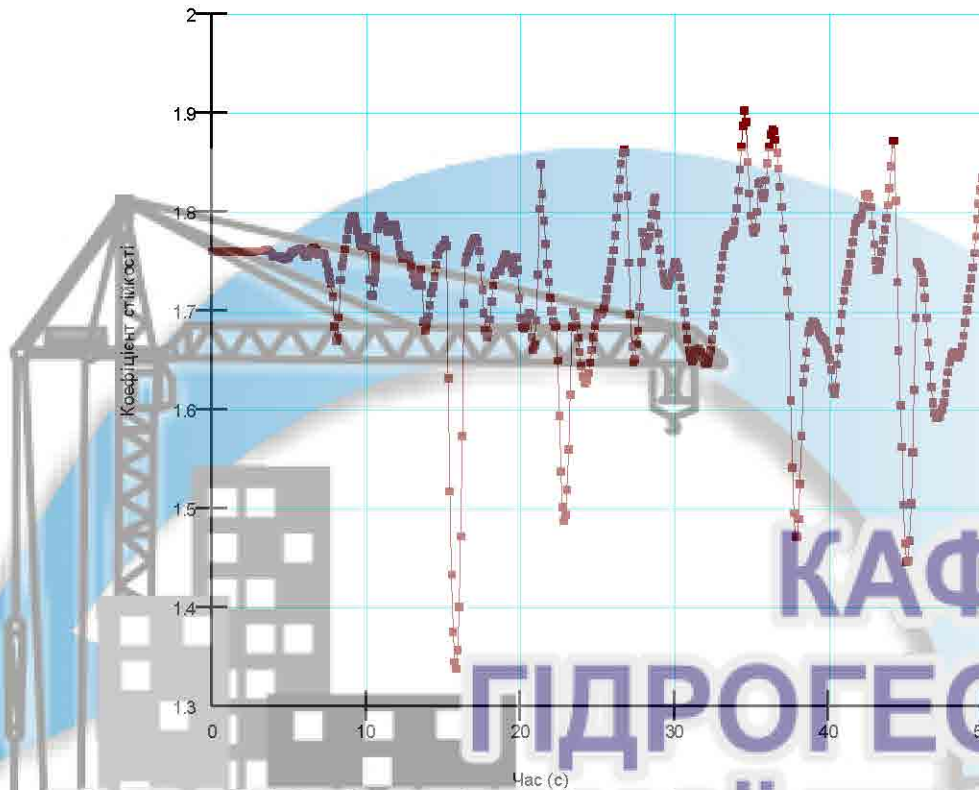


Рисунок Д.4.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 4-4):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

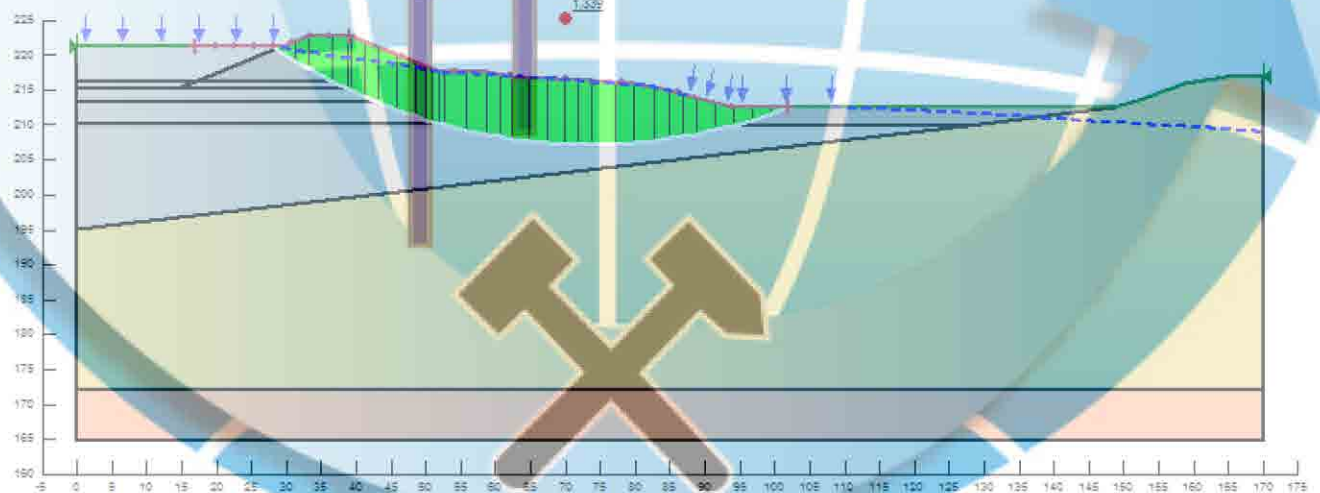


Рисунок Д.4.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 15,8 с (профіль 4-4) –  $k_s = 1,339$ , динамічний розрахунок



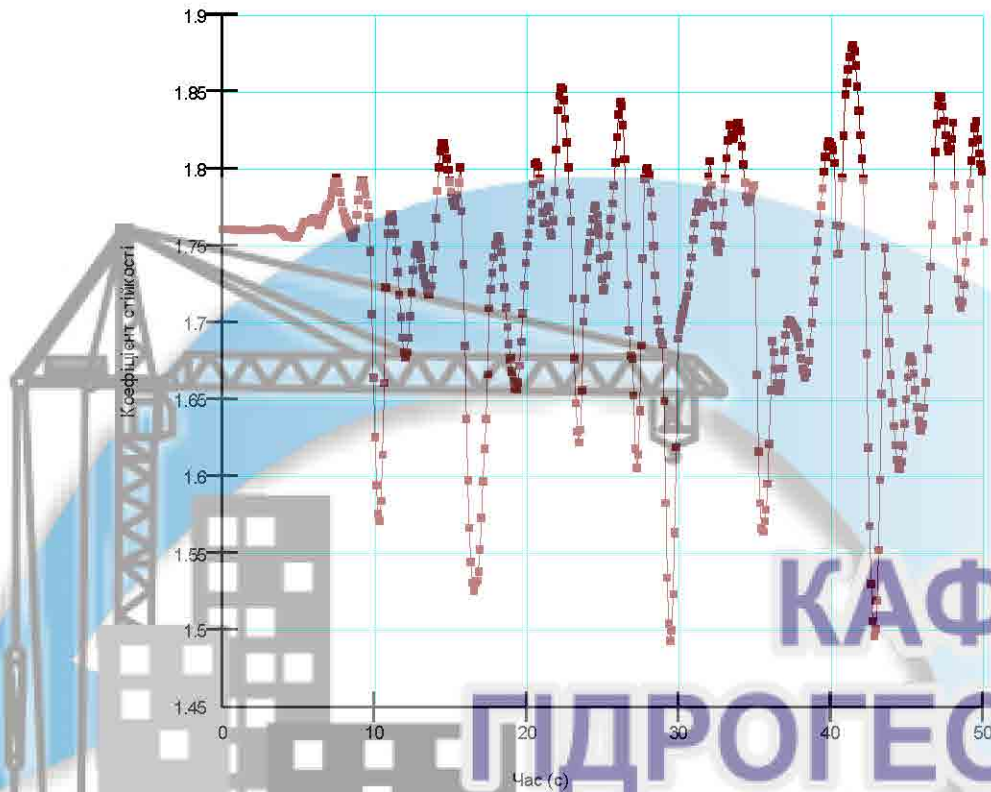


Рисунок Д.4.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 4-4):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

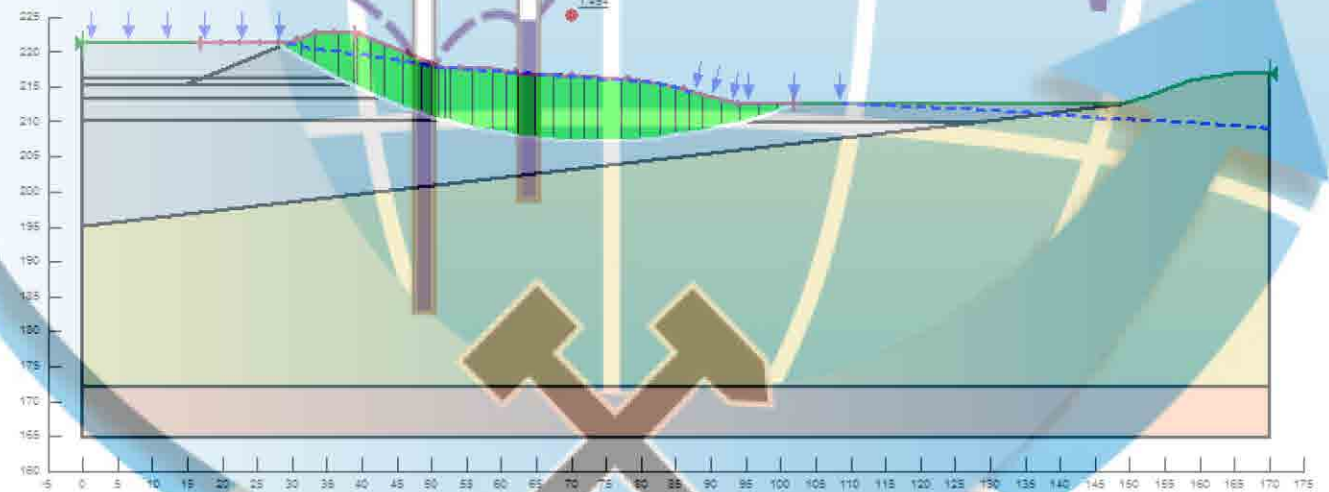


Рисунок Д.4.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 29,4 с (профіль 4-4) –  $k_s = 1,494$ , динамічний розрахунок

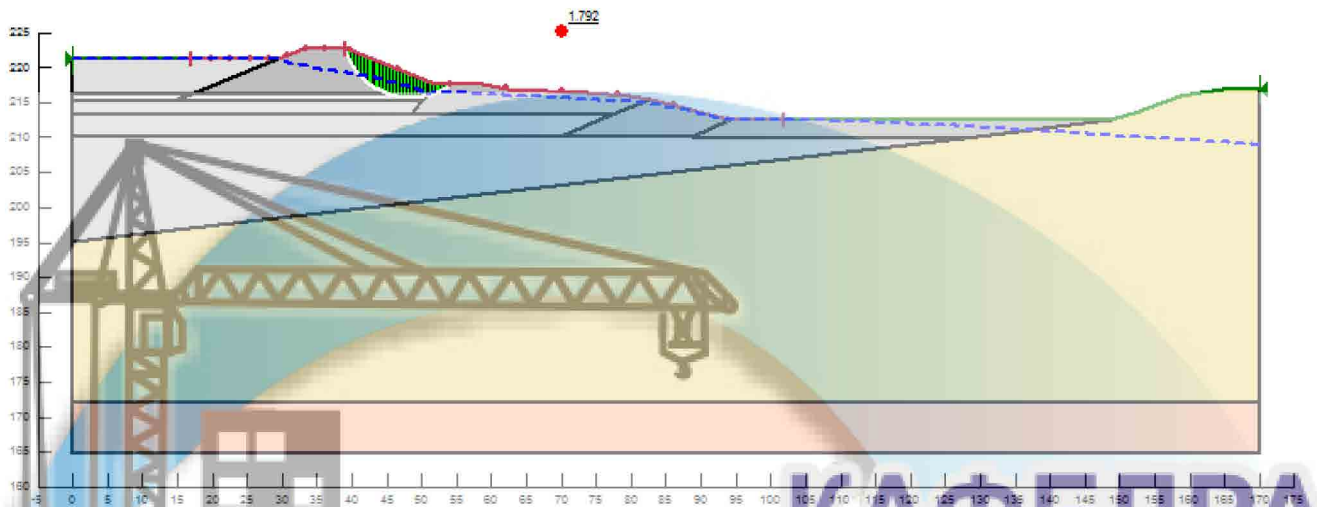


Рисунок Д.4.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 4-4) –  $k_s = 1,792$ , статичний розрахунок

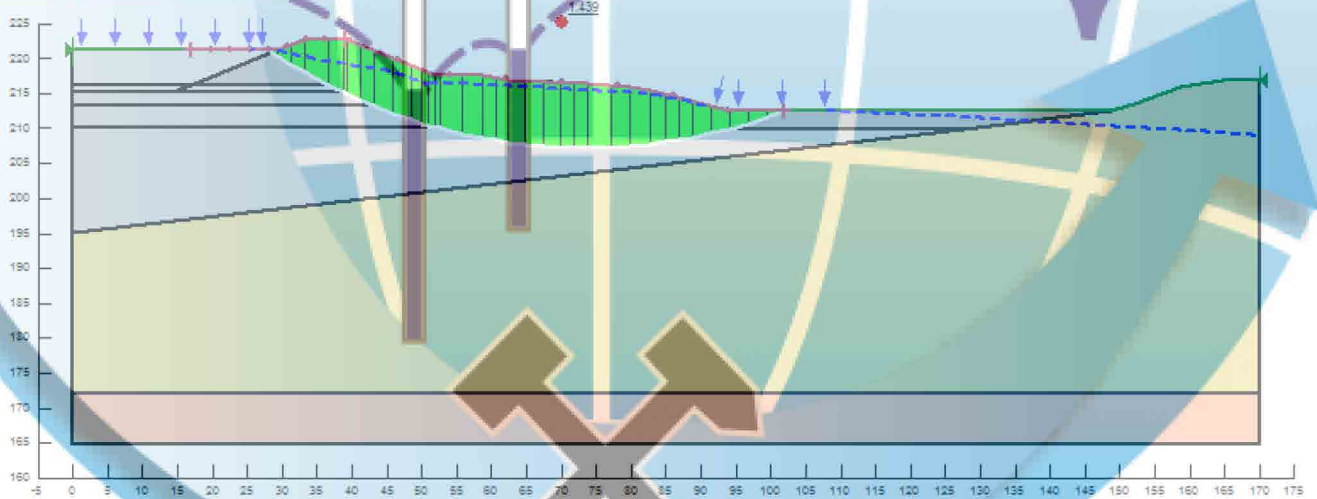


Рисунок Д.4.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 15,8 с (профіль 4-4) –  $k_s = 1,439$ , динамічний розрахунок



**Додаток 5. Результати розрахунку гідргеомеханічної стійкості  
огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 5-5**

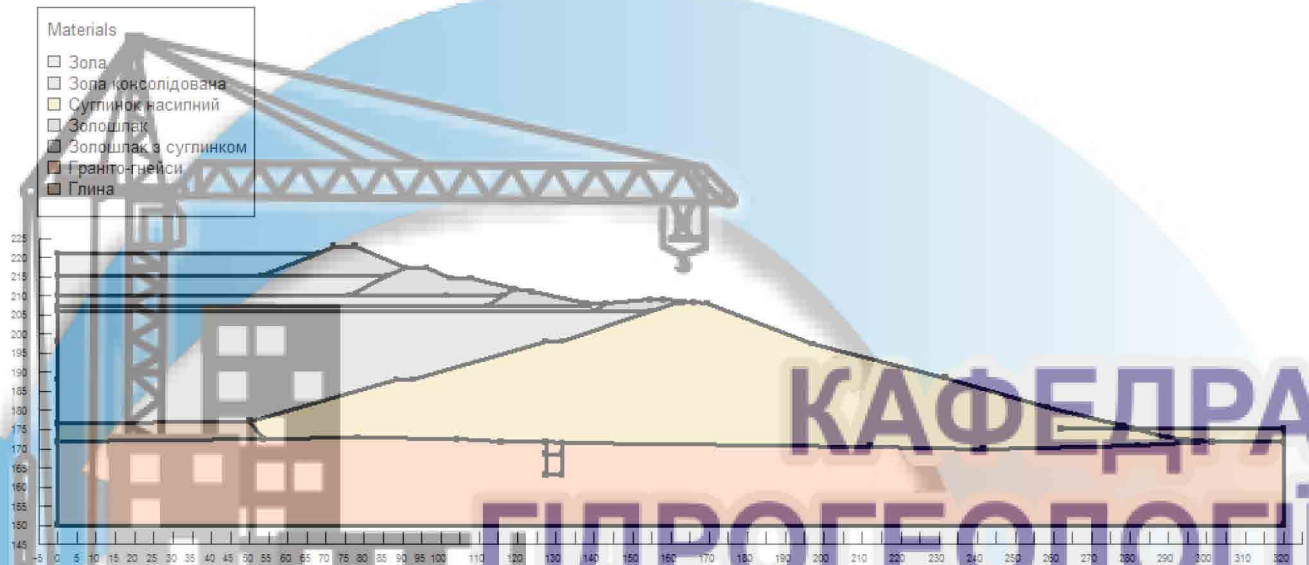


Рисунок Д.5.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних споруд золовідвалу (профіль 5-5)

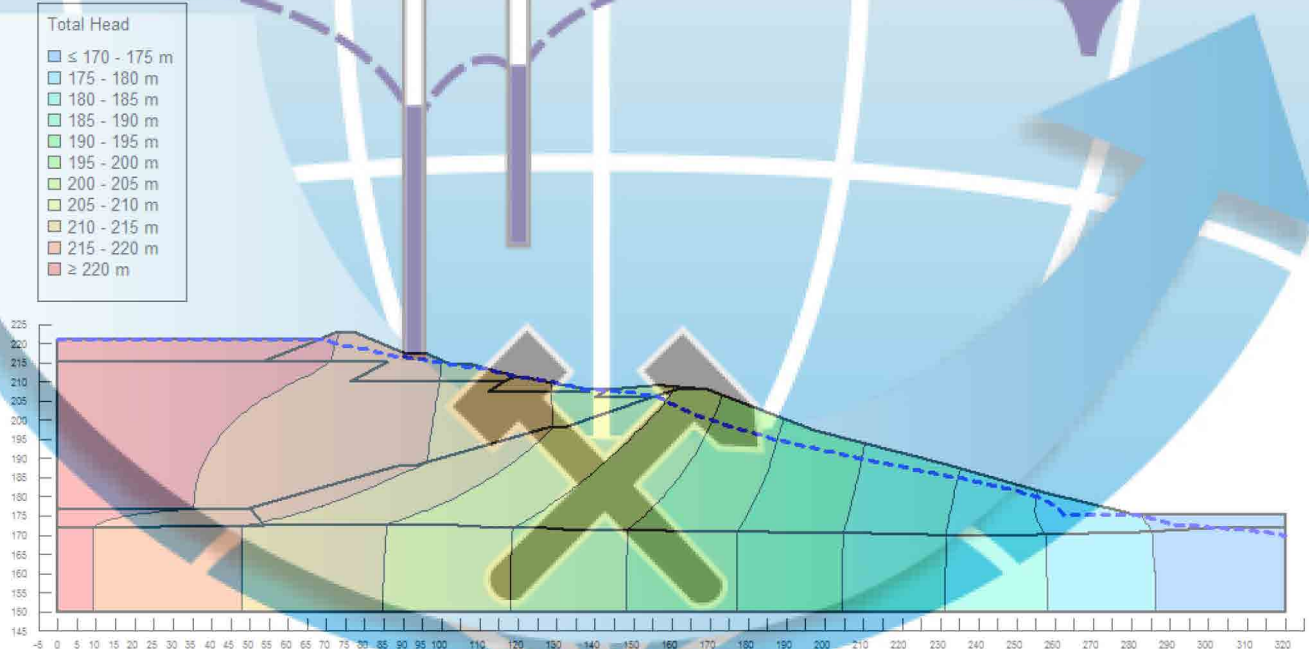


Рисунок Д.5.2 – Епюра гідравлічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 5-5), гідродинамічний розрахунок

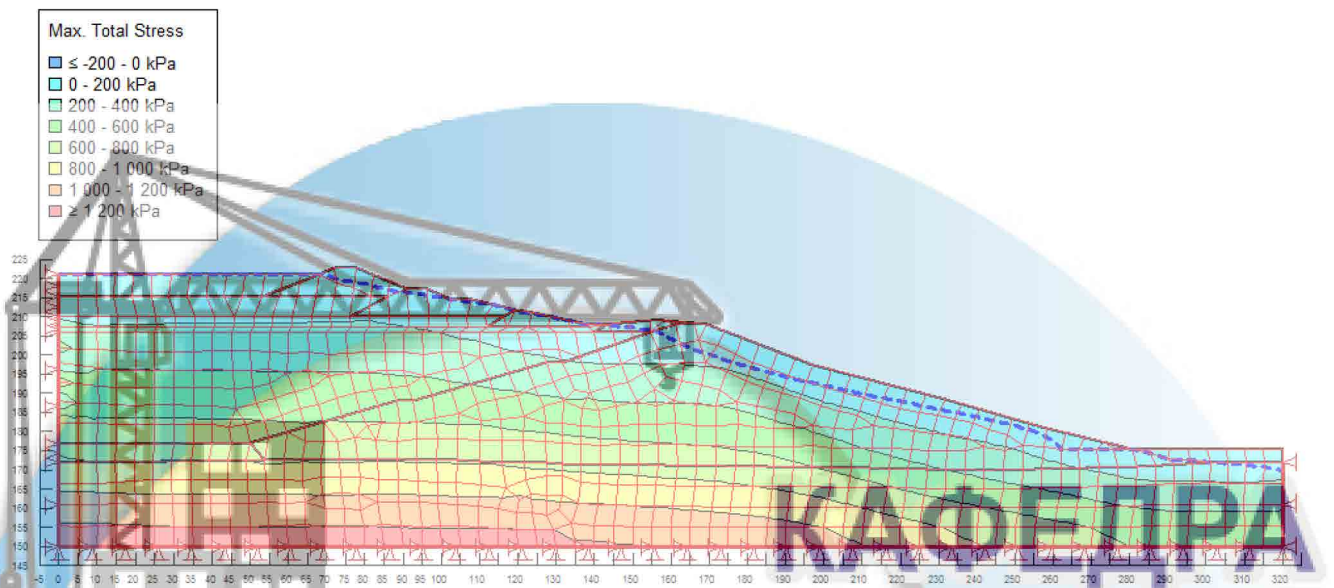


Рисунок Д.5.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 5-5), статичний розрахунок

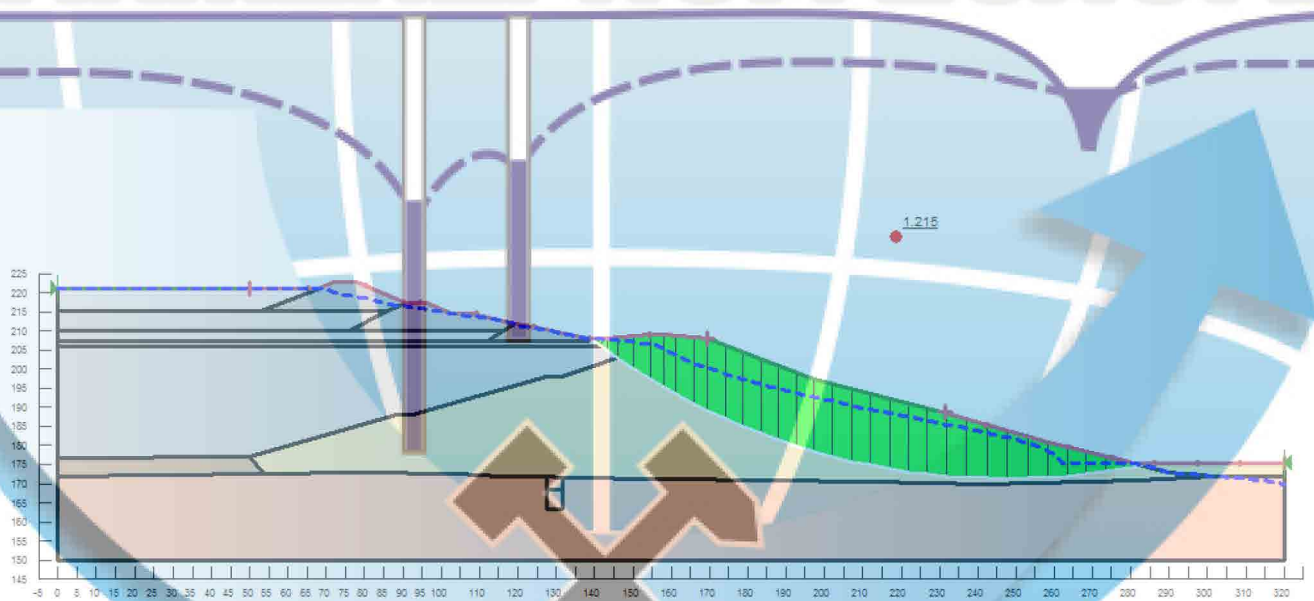


Рисунок Д.5.4 – Призма зеуву при втраті стійкості (профіль 5-5):  $k_s = 1,215$ , статичний розрахунок



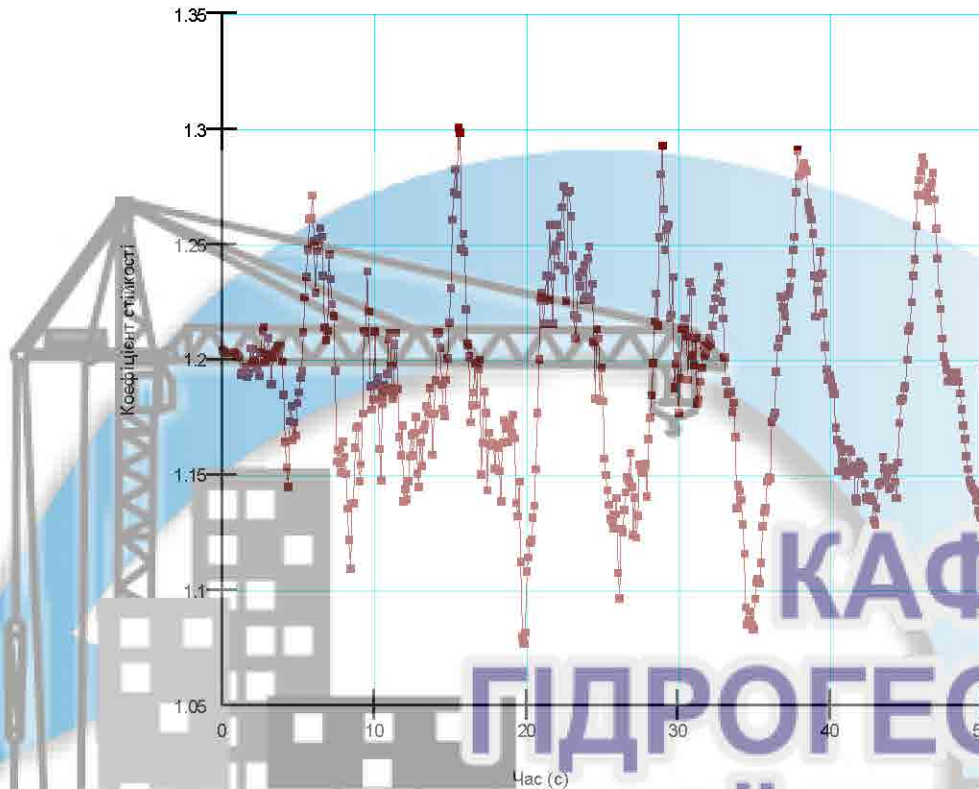


Рисунок Д.5.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 5-5):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

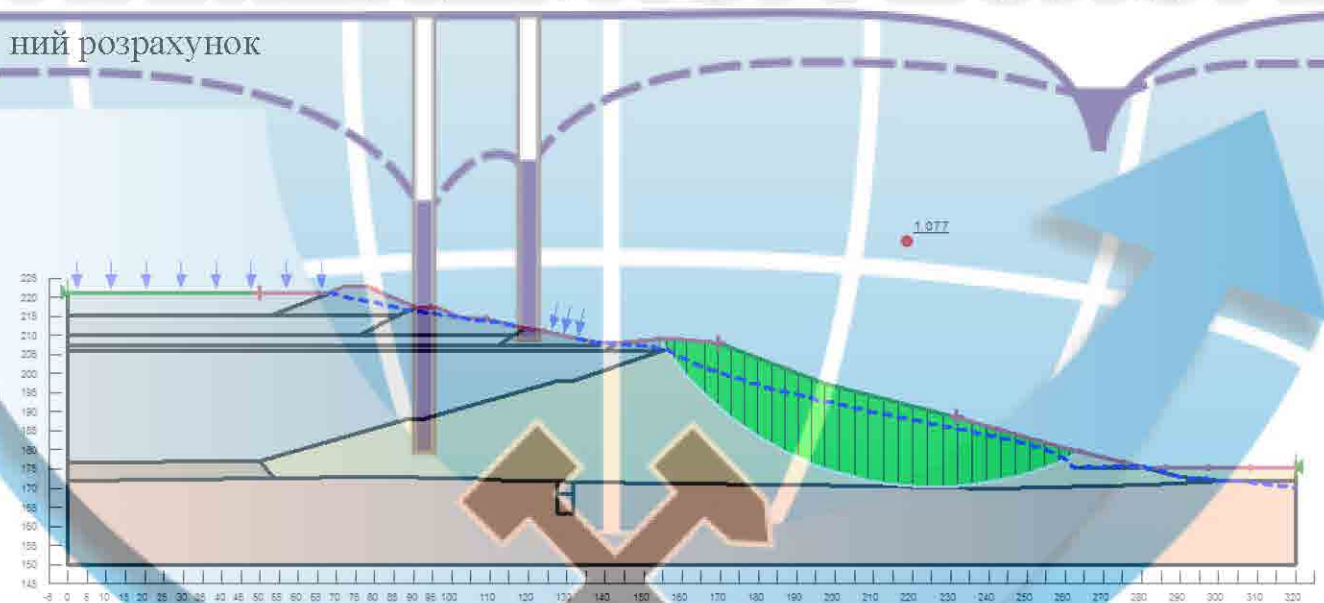


Рисунок Д.5.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 19,8 с (профіль 5-5) –  $k_s = 1,077$ , динамічний розрахунок

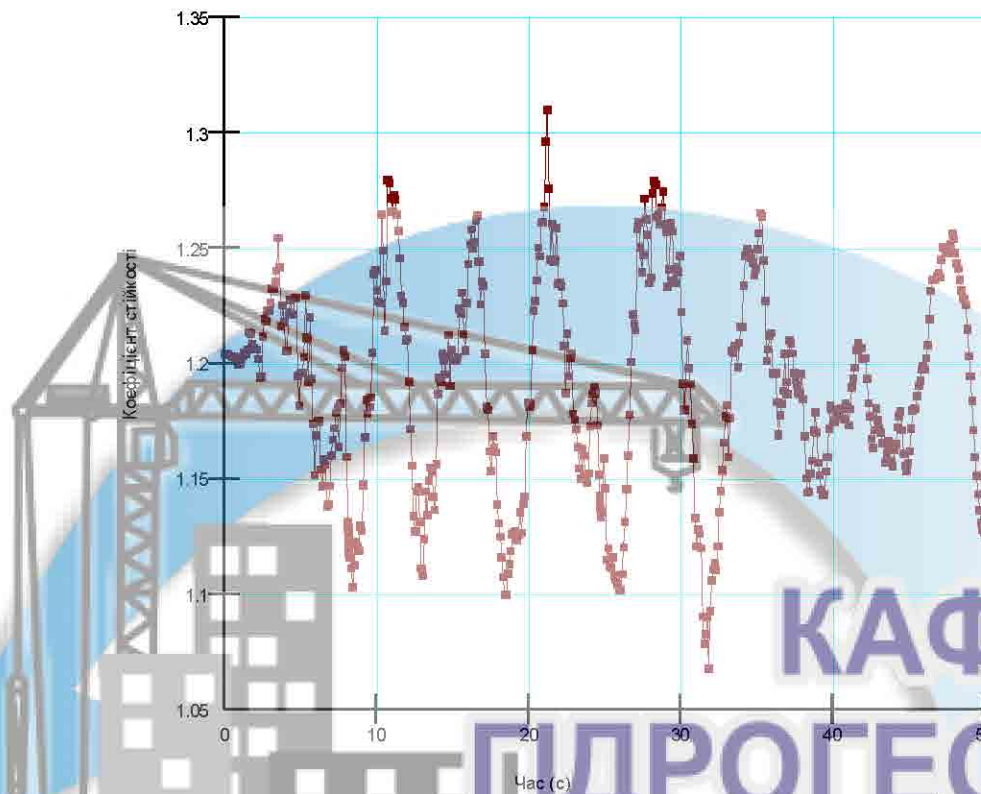


Рисунок Д.5.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 5-5):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

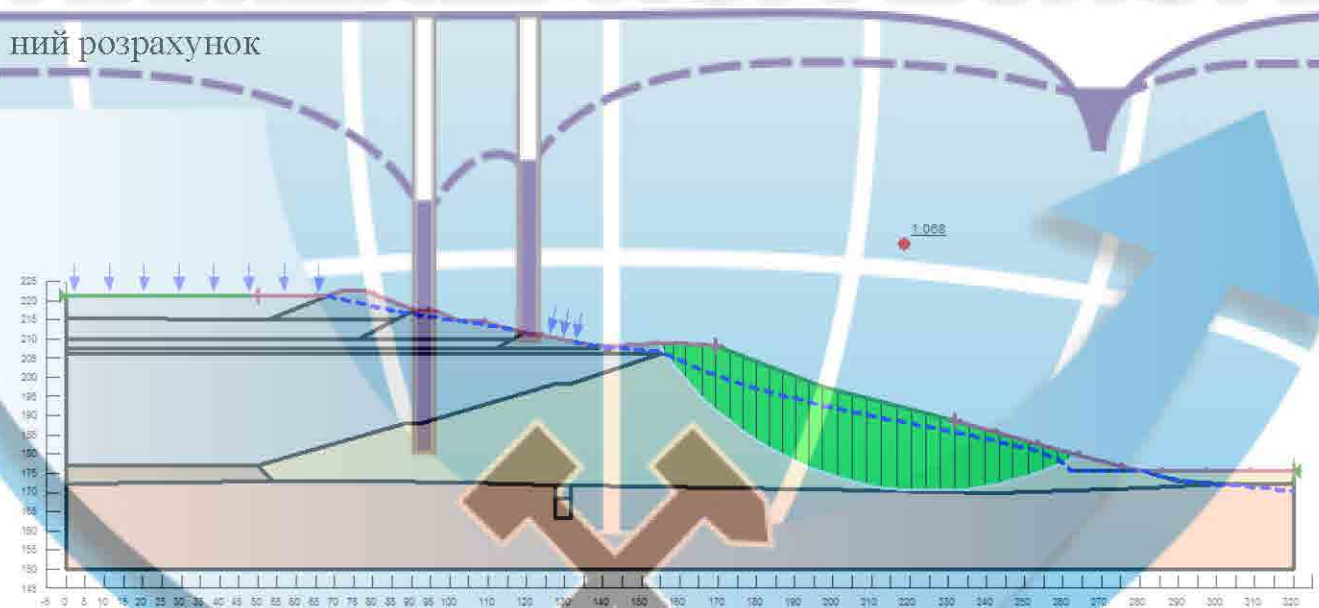


Рисунок Д.5.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 31,8 с (профіль 5-5) –  $k_s = 1,068$ , динамічний розрахунок



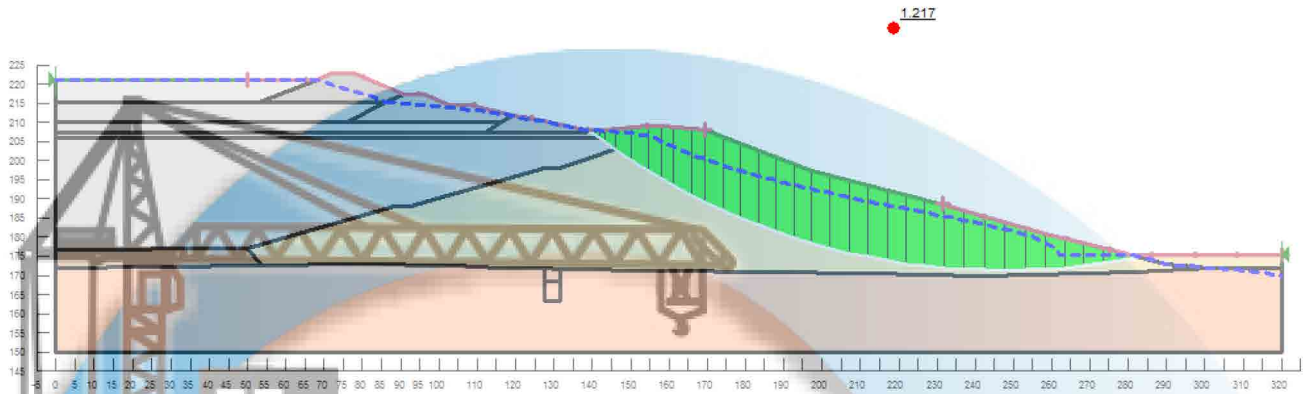


Рисунок Д.5.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 5-5) –  $k_s = 1,217$ , статичний розрахунок

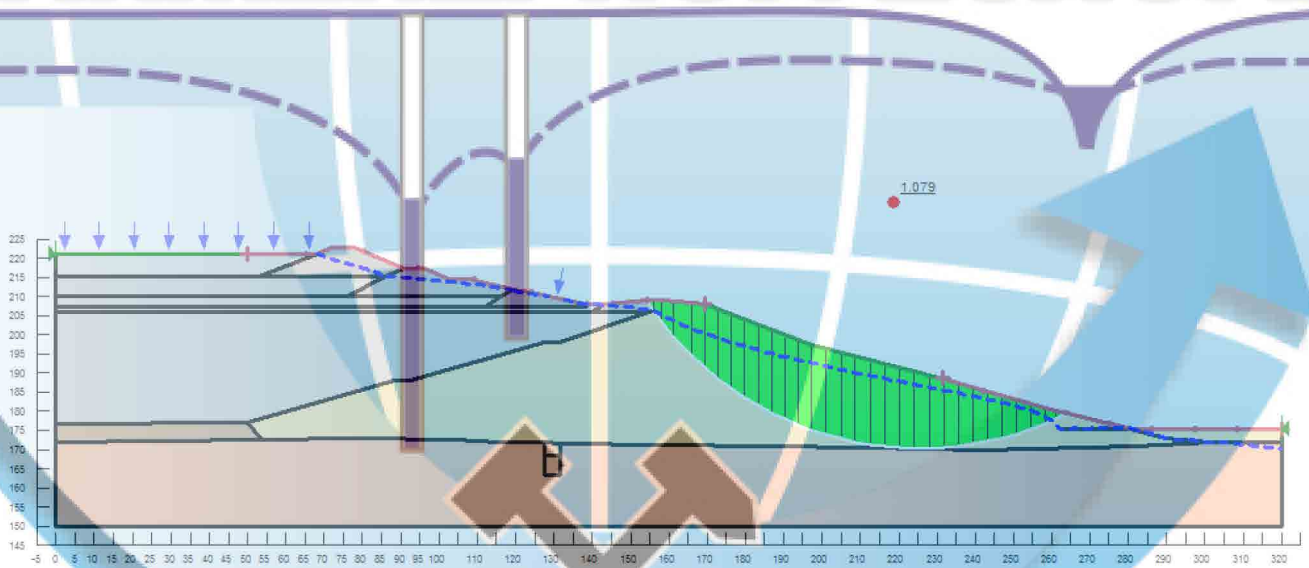


Рисунок Д.5.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 19,8 с (профіль 5-5) –  $k_s = 1,079$ , динамічний розрахунок

**Додаток 6. Результати розрахунку гідргеомеханічної стійкості  
огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 6-6**



Рисунок Д.6.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних споруд золовідвалу (профіль 6-6)

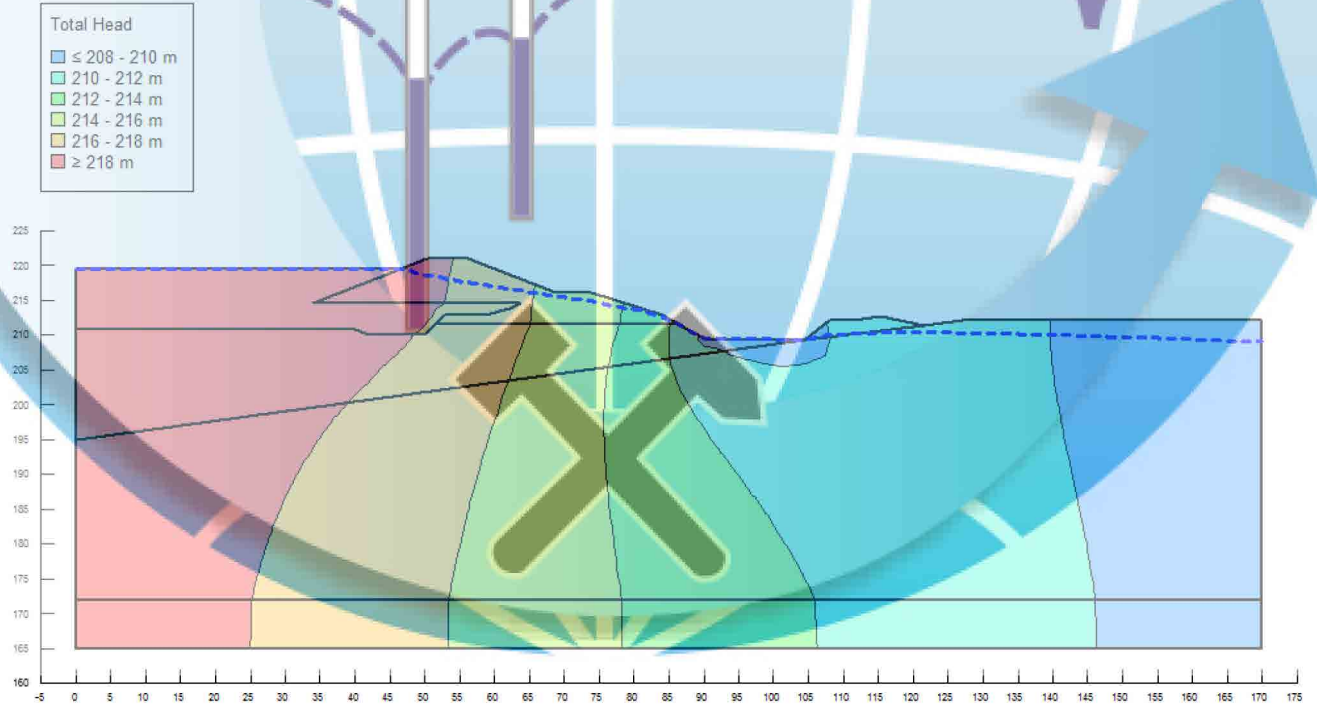


Рисунок Д.6.2 – Епюра гідралічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 6-6), гідродинамічний розрахунок



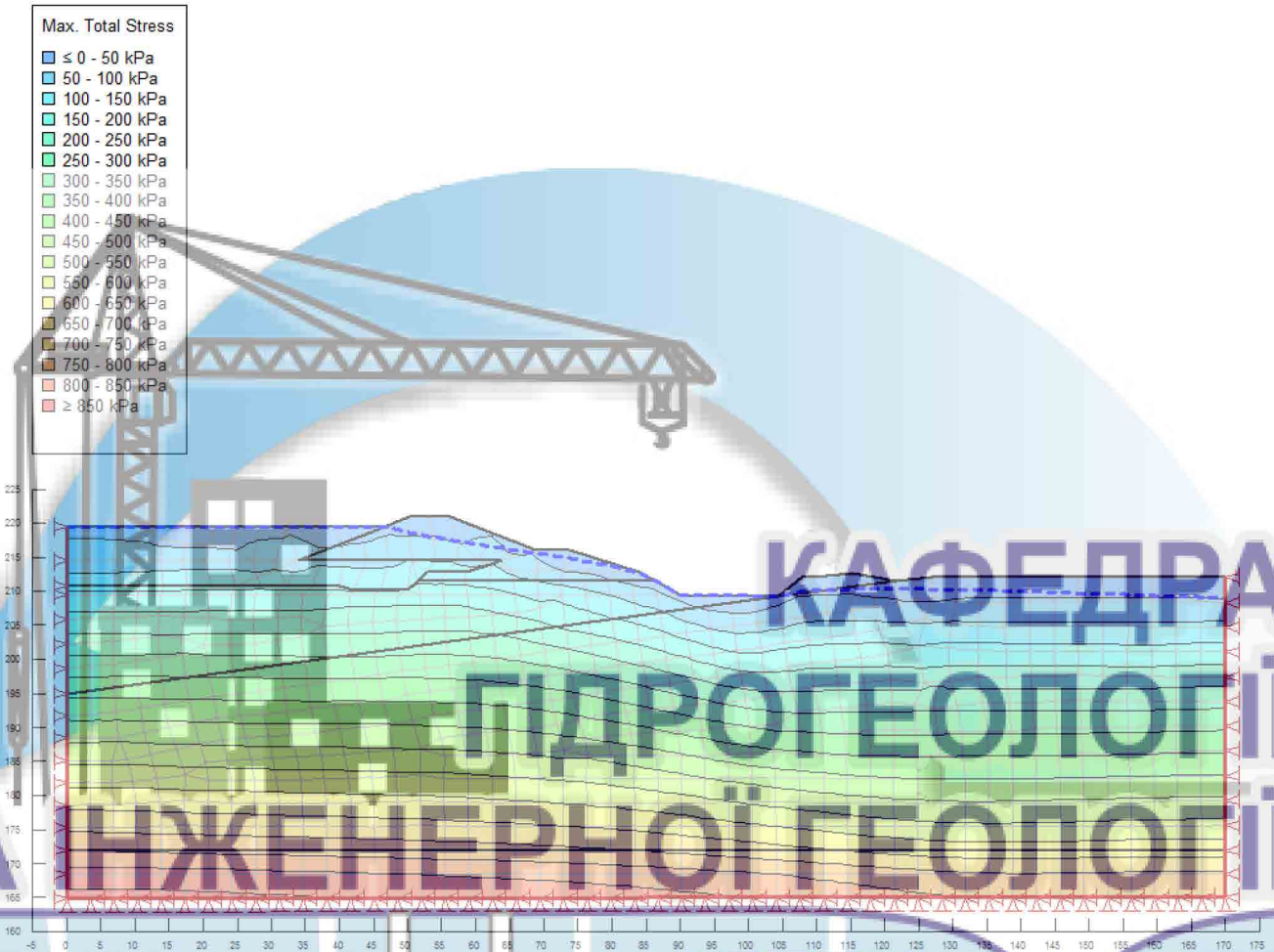


Рисунок Д.6.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 6-6), статичний розрахунок

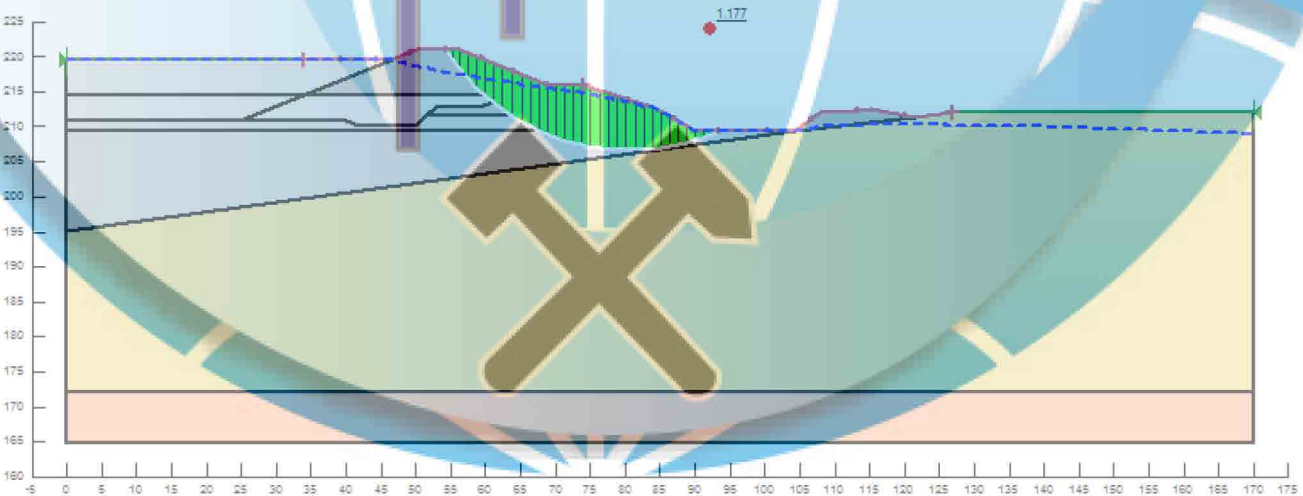


Рисунок Д.6.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 6-6):  $k_s = 1,177$ , статичний розрахунок

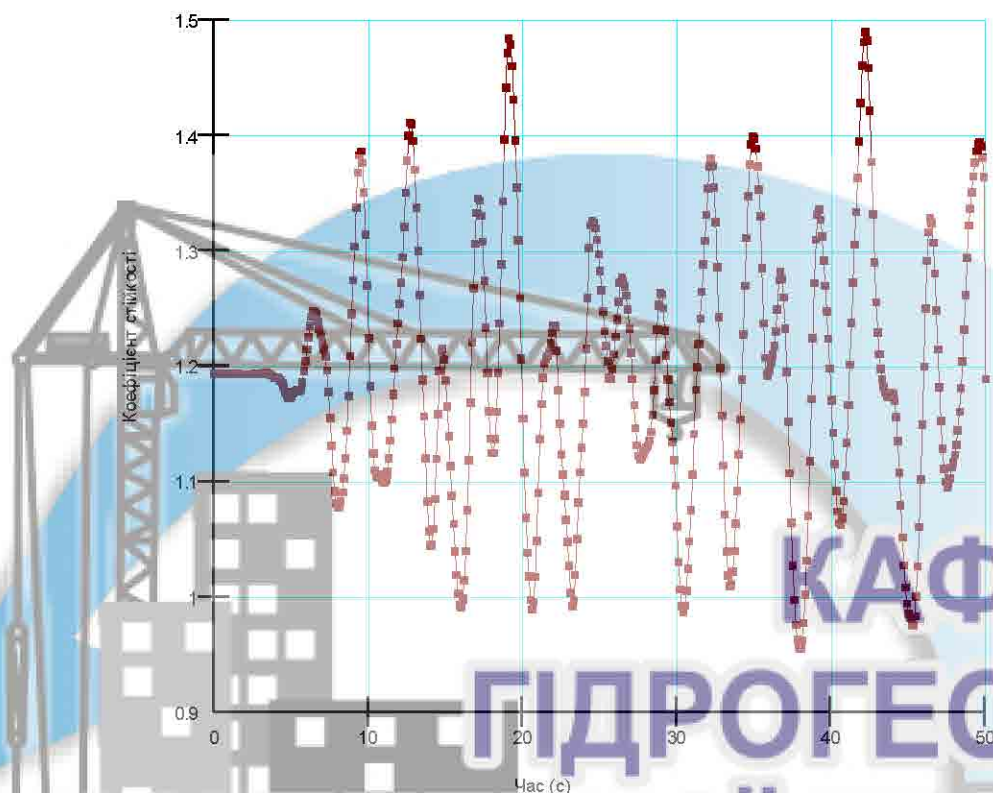


Рисунок Д.6.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 6-6):  $R$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок



Рисунок Д.6.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 38,0 с (профіль 6-6) –  $k_s = 0,956$ , динамічний розрахунок



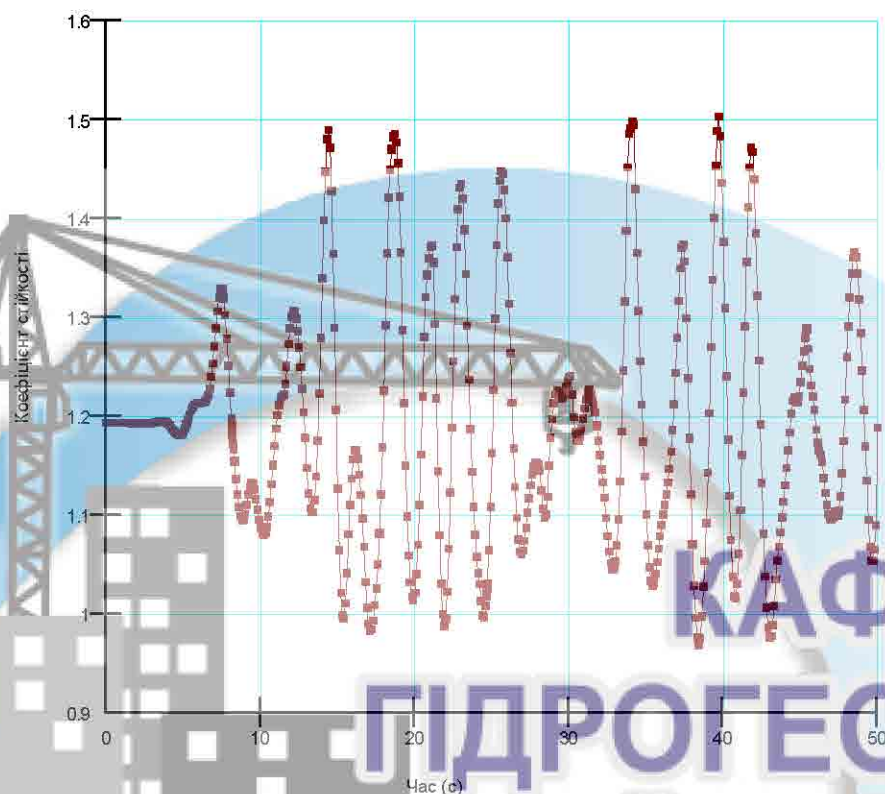


Рисунок Д.6.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 6-6):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

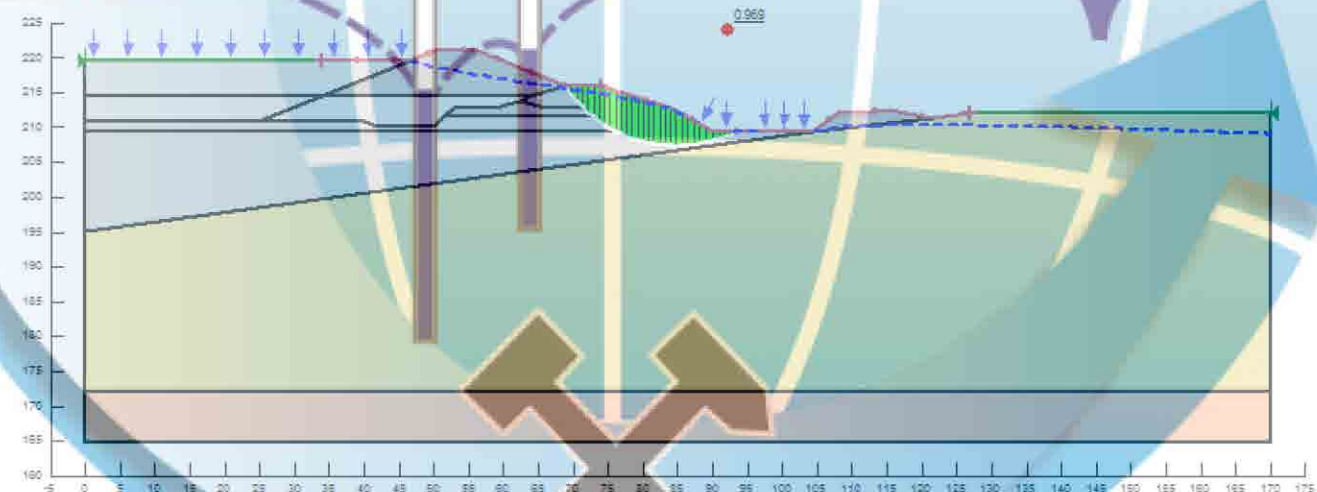


Рисунок Д.6.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 38,4 с (профіль 6-6) –  $k_s = 1,969$ , динамічний розрахунок

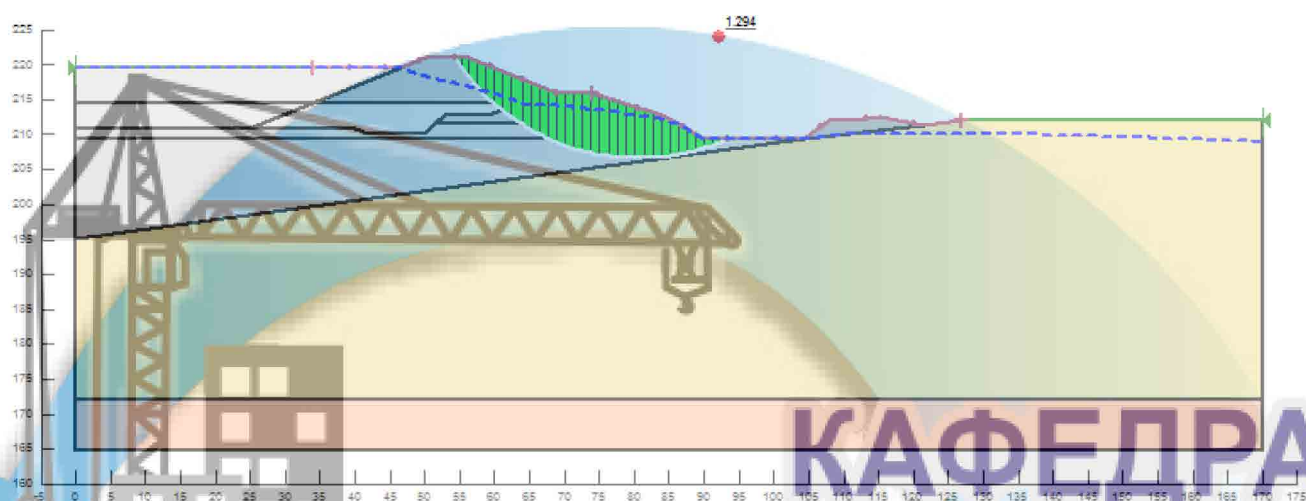


Рисунок Д.6.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 6-6) –  $k_s =$

1,294, статичний розрахунок

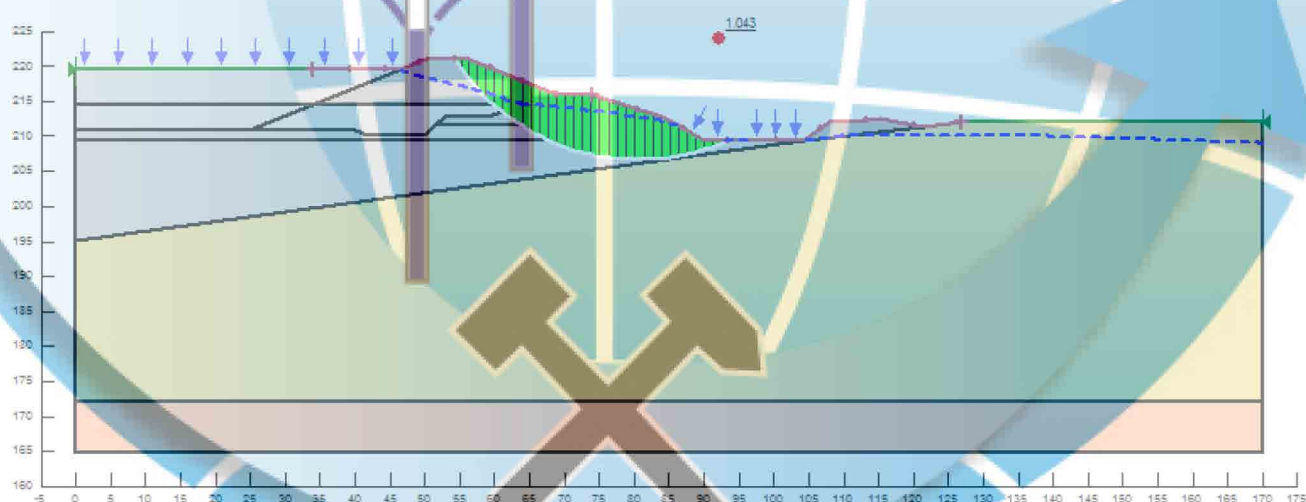


Рисунок Д.6.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 37,9 с (профіль 6-6) –  $k_s = 1,043$ , динамічний розрахунок



## Додаток 7. Результати розрахунку гідрогеомеханічної стійкості огорожувальних споруд золовідвалу, профіль 7-7



Рисунок Д.7.1 – Розрахункова схематизація ділянки огорожувальних споруд золовідвалу (профіль 7-7)

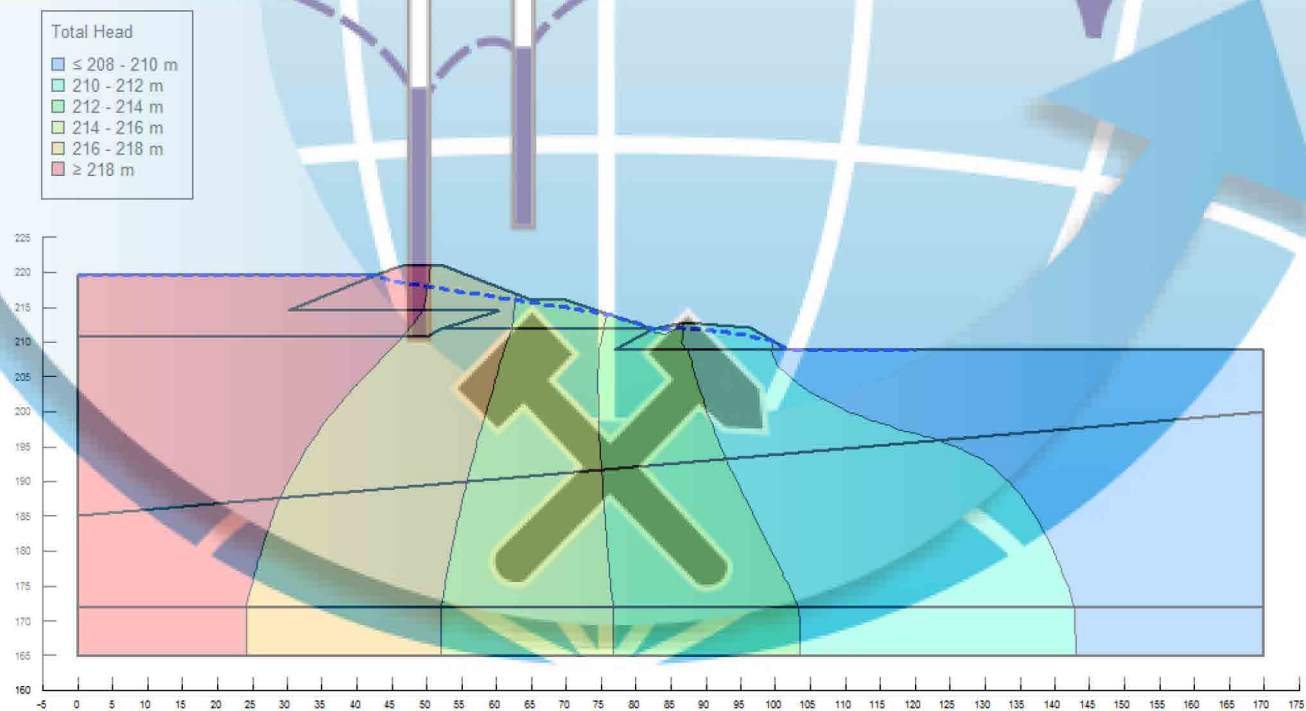


Рисунок Д.7.2 – Епюра гідралічних напорів в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 7-7), гідродинамічний розрахунок

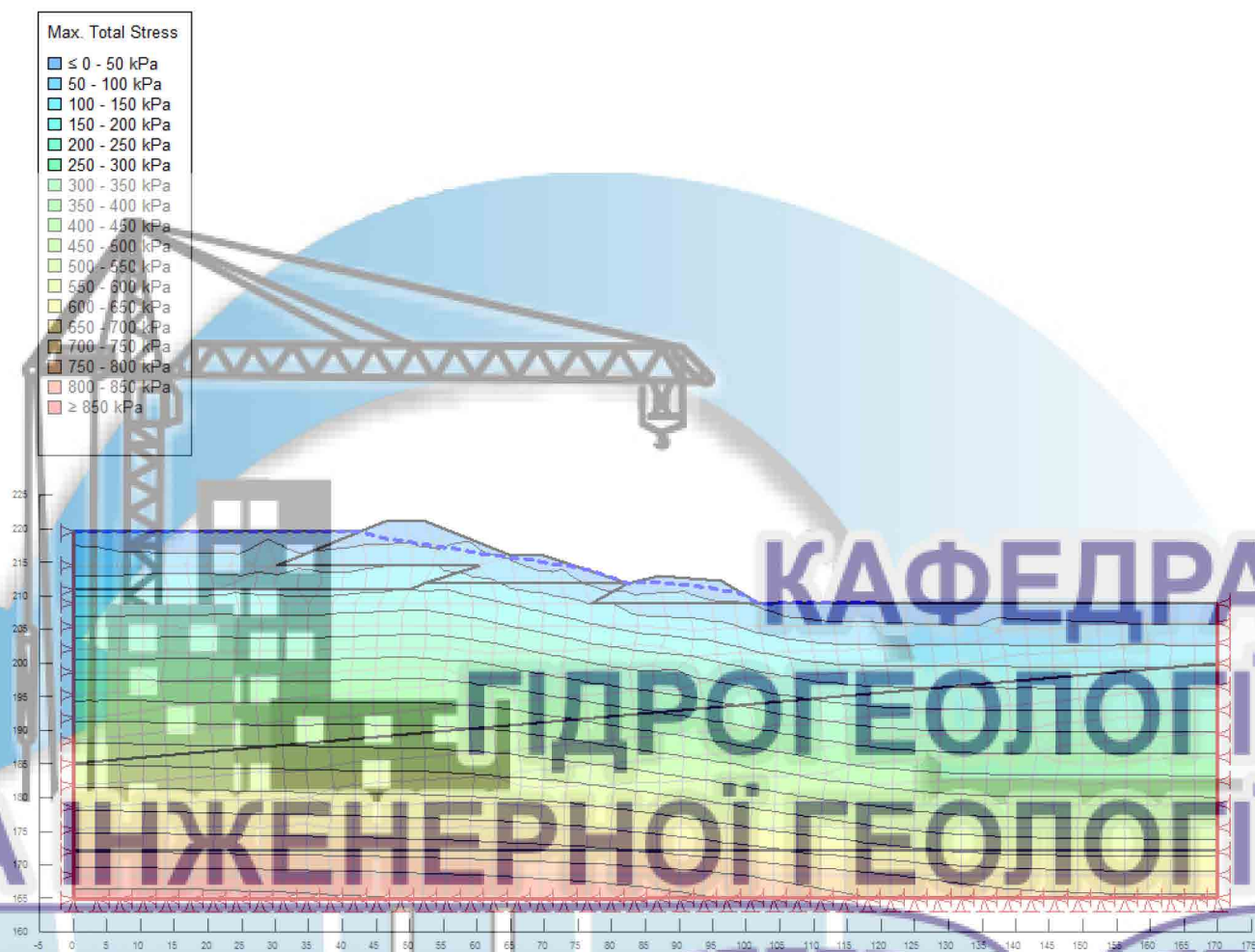


Рисунок Д.7.3 – Епюра максимальних повних напружень в межах ділянки огорожувальних споруд (профіль 7-7), статичний розрахунок

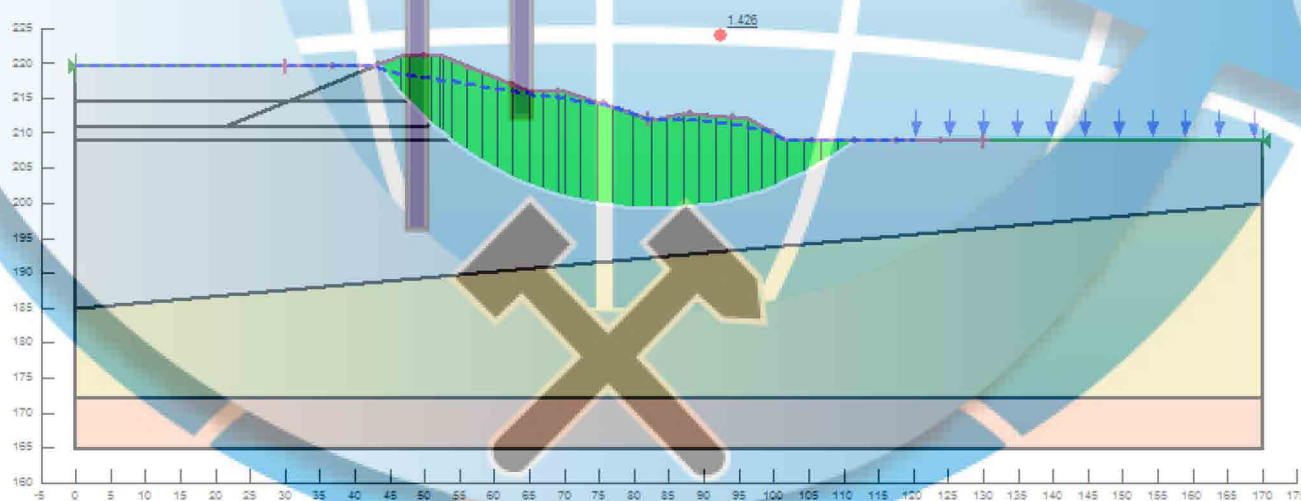


Рисунок Д.7.4 – Призма зсуву при втраті стійкості (профіль 7-7):  $k_s = 1,426$ , статичний розрахунок



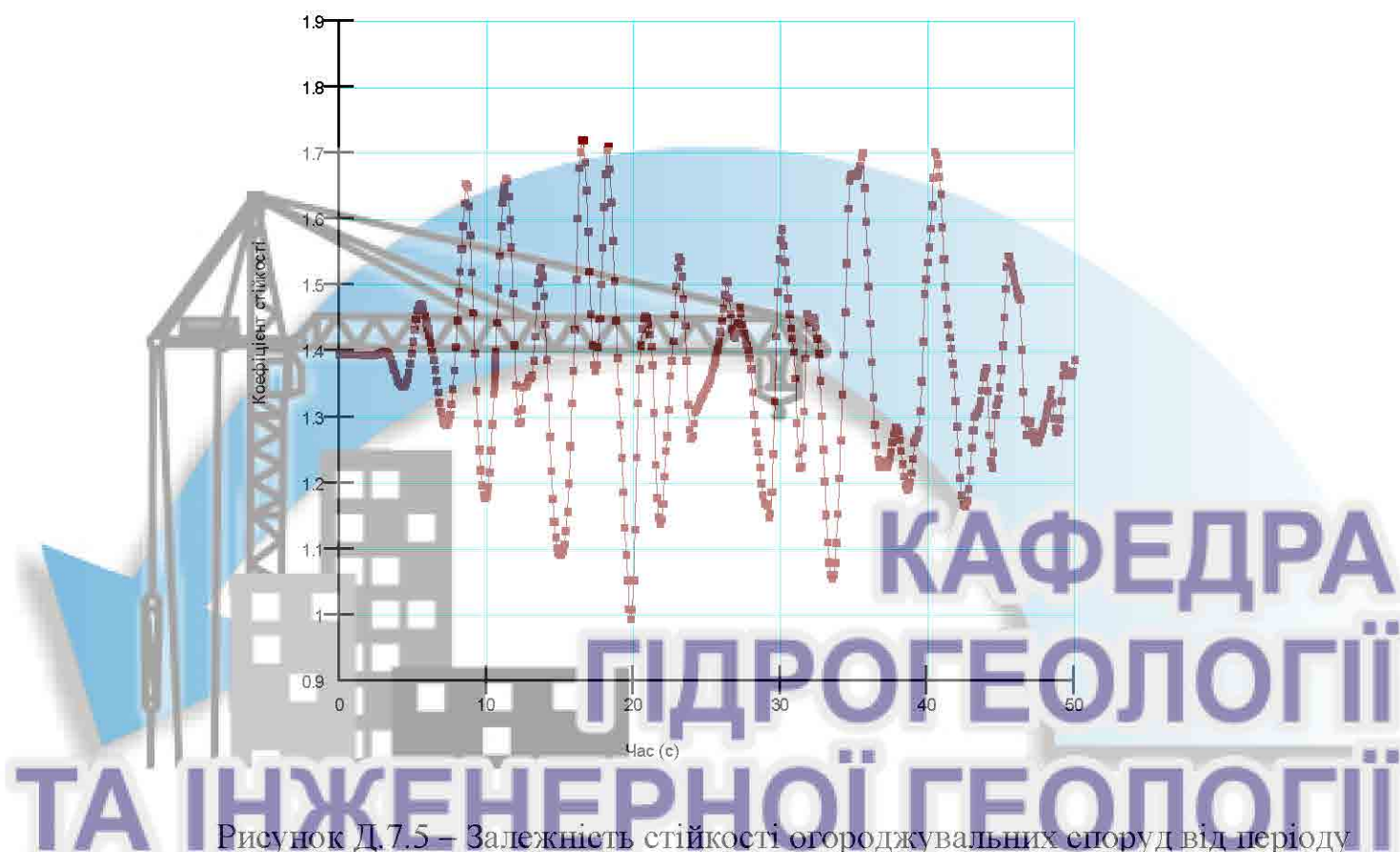


Рисунок Д.7.5 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 7-7): R- і Z-компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

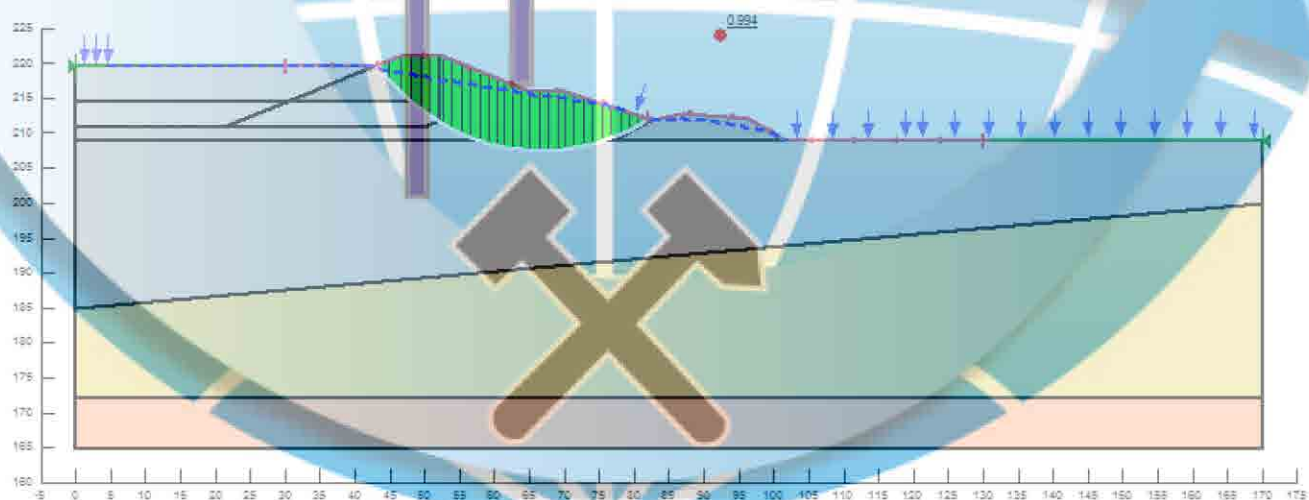


Рисунок Д.7.6 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 16,8 с (профіль 7-7) –  $k_s = 0,994$ , динамічний розрахунок

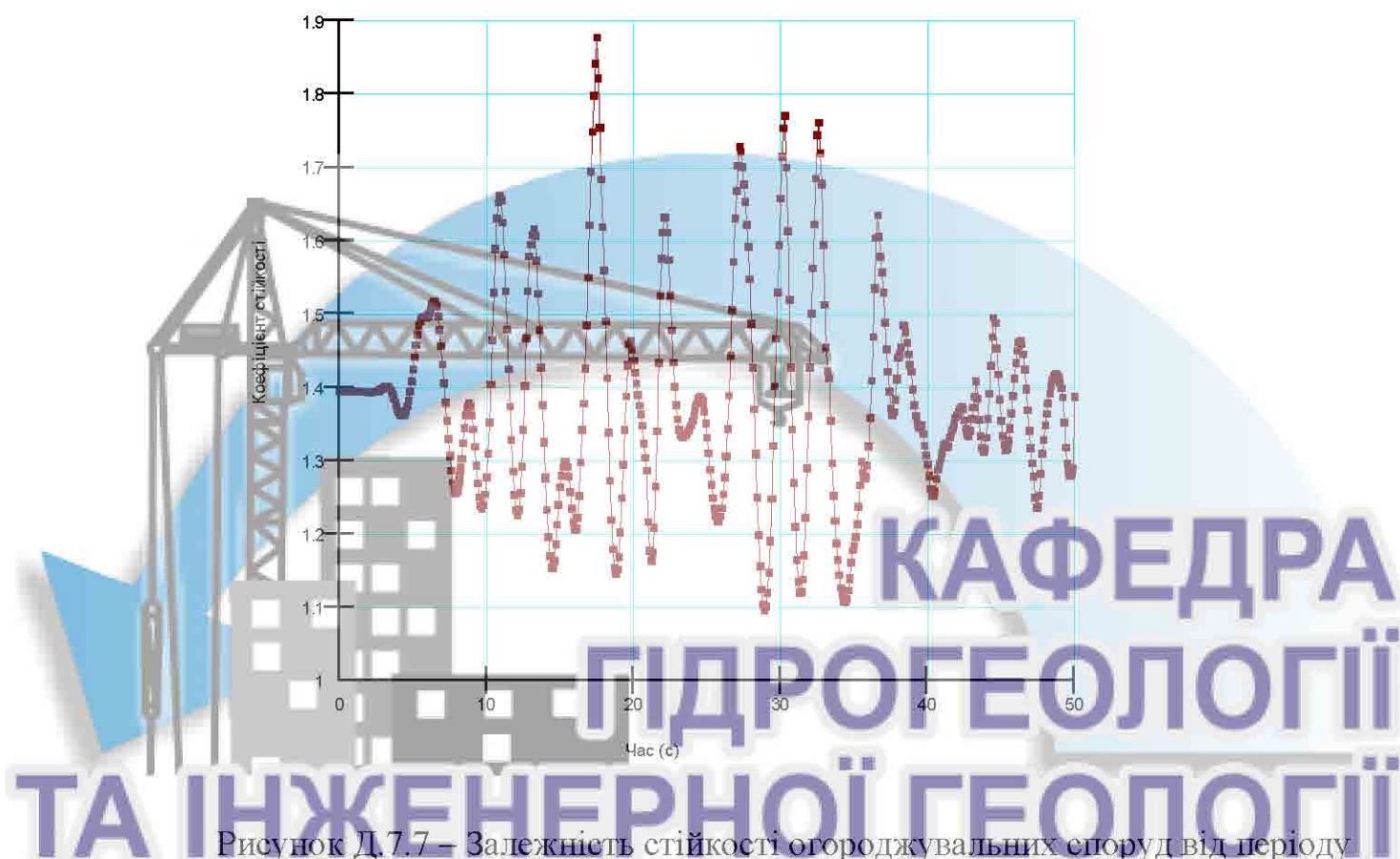


Рисунок Д.7.7 – Залежність стійкості огорожувальних споруд від періоду сейсмічних коливань (профіль 7-7):  $T$ - і  $Z$ -компоненти аселерограми, динамічний розрахунок

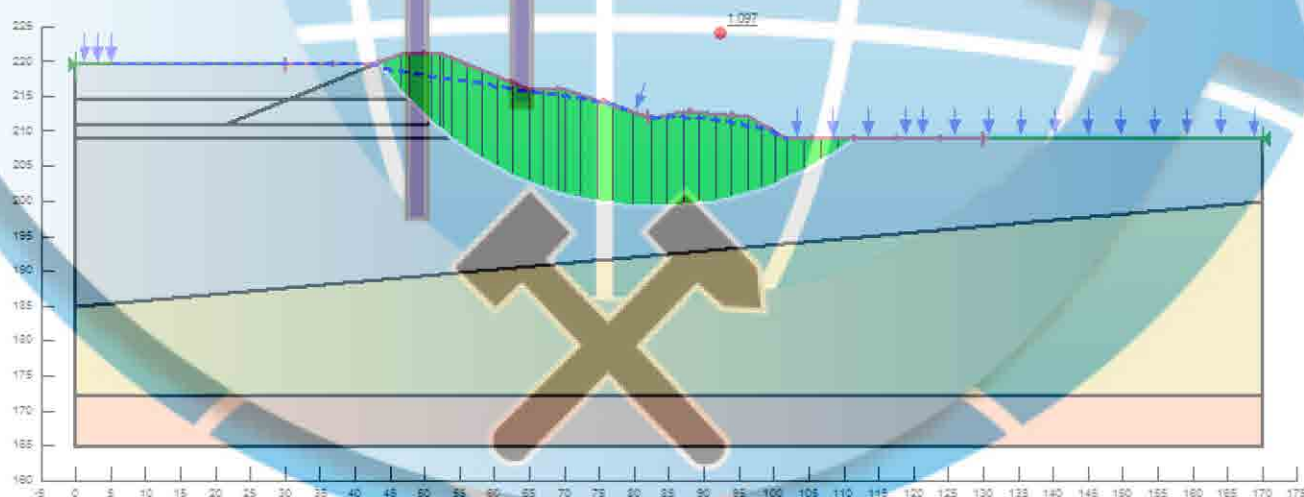


Рисунок Д.7.8 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд на часовій позначці 28,9 с (профіль 7-7) –  $k_s = 1,097$ , динамічний розрахунок



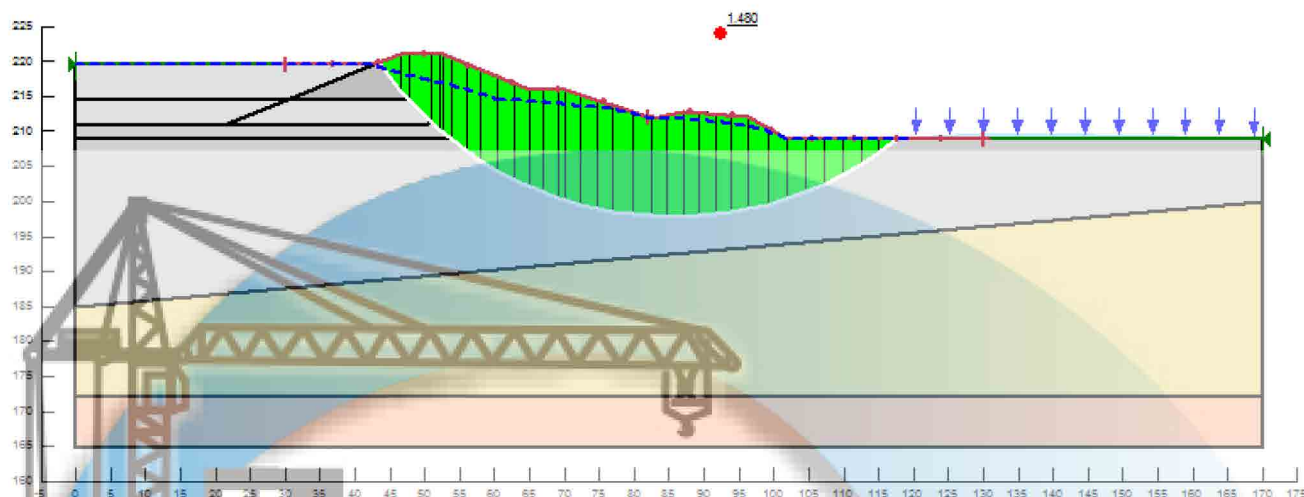


Рисунок Д.7.9 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу (профіль 7-7) –  $k_s = 1,480$ , статичний розрахунок

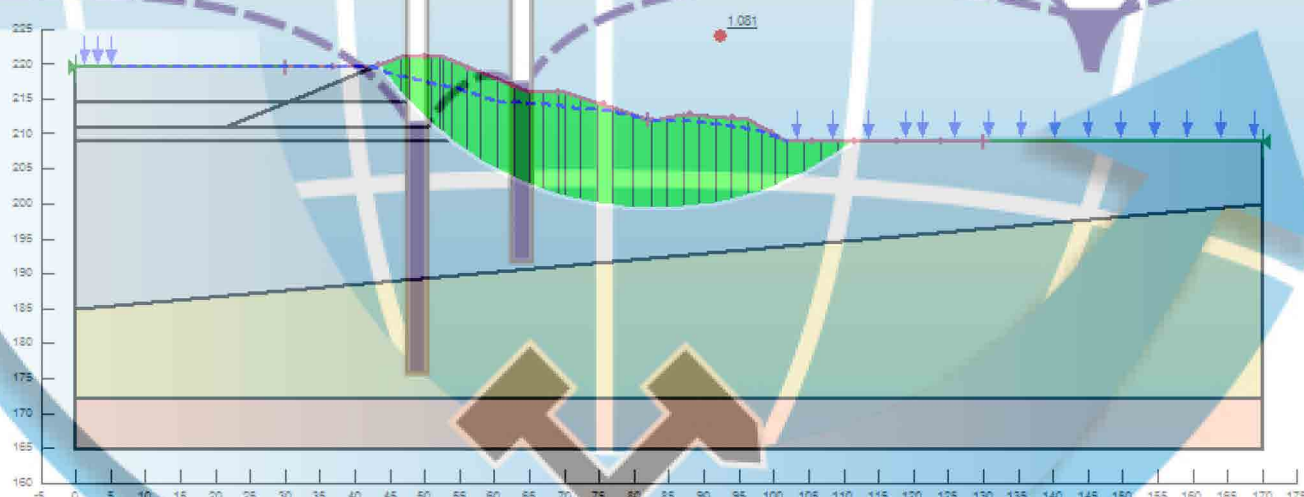


Рисунок Д.7.10 – Призма зсуву при втраті стійкості огорожувальних споруд в умовах роботи горизонтального тубчатого дренажу на часовій позначці 33,5 с (профіль 7-7) –  $k_s = 1,081$ , динамічний розрахунок



КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

The logo is a circular emblem with a blue and white color scheme. The top half shows a construction crane and a building. The bottom half shows a cross-section of the Earth with geological layers, a large blue arrow pointing right, and a crossed hammer and pickaxe. The text is overlaid on the right side of the emblem.





КАФЕДРА  
ГІДРОГЕОЛОГІЇ  
ТА ІНЖЕНЕРНОЇ ГЕОЛОГІЇ

The logo is a circular emblem with a blue and white color scheme. The top half features a stylized construction site with a crane and buildings. The bottom half shows a cross-section of the Earth with geological layers, a large blue arrow pointing right, and a crossed hammer and pickaxe. The text is centered in the middle of the emblem.