

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ «Інститут геології»
Кафедра геофізики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА
спеціальність 103 – Науки про Землю
освітня програма «Геофізика»

**ТЕМА: «ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДАНИХ КОМПЛЕКСУ
ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАНУ ЧАСТИН ГРЕБЕЛЬ КИЇВСЬКОЇ ТА КРЕМЕНЧУЦЬКОЇ ГЕС»**

Виконав

студент 2-го курсу
магістратури
кафедри геофізики
Мірзоян Сергій

Науковий керівник

Кандидат геологічних наук
Безродний Дмитро

Робота рекомендується до захисту (протокол № 10 засідання кафедри геофізики
від 21 травня 2024)

Завідувач кафедри

доцент, кандидат геол. наук
Віктор ОНИЩУК

Київ – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4 ст.
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7 ст.
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКИ РОБІТ	8 ст.
1.1. Фізико-географічна, геологічна, гідрогеологічна та геоморфологічна характеристики.....	8 ст.
1.2. Клімат	10 ст.
1.3. Сейсмічні умови.....	12 ст.
2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КИЇВСЬКУ ТА КРЕМЕНЧУЦЬКУ ГЕС	14 ст.
2.1. Стисла характеристика об'єктів дослідження.	14 ст.
2.2. Наземні греблі.....	16 ст.
2.3. Протифільтраційні та дренажні заходи.....	18 ст.
3. МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ РОБІТ	21 ст.
3.1. Топографо-геодезичні роботи.	21 ст.
3.2. Вертикальне електричне зондування (ВЕЗ).....	24 ст.
3.3. Електрична томографія(ЕТ).....	30 ст.
3.4. Методика спостереження методом природного поля (ПП).	31 ст.
3.4.1. Теоретичні відомості.....	33 ст.
3.4.2. Загальні вимоги по “Інструкції з електророзвідки” для неполяризованих електродів.....	35 ст.
3.4.3. Спосіб потенціалів.....	36 ст.
3.4.4. Спосіб градієнт-потенціалу.....	36 ст.
4. ОБРОБКА ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	37 ст.

4.1. Вертикальні електричні зондування	37 ст.
4.2. Електротомографія.	40 ст.
4.3. Природне електричне поле	42 ст.
5. РЕЗУЛЬТАТИ РОБІТ	44 ст.
5.1 Київська ГЕС.....	44 ст.
5.1.1. Вертикальні електричні зондування	44 ст.
5.1.2. Природне поле.....	46 ст.
5.2. Кременчуцька ГЕС.....	48 ст.
5.2.1. Вертикальні електричні зондування та електротомографія.....	48 ст.
5.2.2. Природне поле.....	60 ст.
ВИСНОВОК	66 ст.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68 ст.

ВСТУП

Одним з ключових завдань на шляху до енергетичної незалежності України є забезпечення незалежного доступу до електроенергії у всіх сферах, від промисловості до побутового використання.

У цьому контексті використання сучасних гідроелектростанцій (ГЕС) на основних річках України є одним з пріоритетних напрямків розвитку. Для забезпечення надійності та ефективності їхньої роботи, необхідно постійно вдосконалювати моніторингові технології та вивчати технічні аспекти їх експлуатації. Довготривала експлуатація технічних систем вимагає постійного моніторингу їхнього технічного стану та вивчення факторів, що сприяють зносу.

Актуальність проведення робіт полягає у визначенні фактичного стану гідротехнічних споруд гідроелектростанцій, визначення заходів щодо забезпечення їх надійної та безпечної експлуатації, перевірки організації нагляду за ними, на виконання вимог нормативного документа "Безпека гідротехнічних споруд і гідромеханічного обладнання електростанцій України. Положення про галузеву систему нагляду" ГКД 34.03.106-2003.

Метою магістерської роботи було вивчення сучасного технічного стану напірних ділянок лівобережних гребель Київської та Кременчуцької ГЕС за комплексом електрометричних методів досліджень.

Об'єкт дослідження ґрунтові греблі Дніпровського каскаду, Київська та Кременчуцька гідроелектростанції.

Предметом досліджень електричні характеристики та параметри ґрунтових масивів для виявлення та локалізації ділянок фільтрації води, послаблених зон в тілі греблі.

Задачі, які ставилися при написанні:

- аналіз результатів попередніх інженерно-геофізичних досліджень на напірних частинах гребель Дніпровського каскаду ГЕС;

- вивчення особливостей інженерно-геологічної будови напірних ділянок Київської та Кременчуцької ГЕС;
 - обробка та аналіз результатів польових електрометричних досліджень;
 - виявлення та локалізація ділянок фільтрації підземних вод через руслову та заплавної частини гребель Київської та Кременчуцької ГЕС.
 - виявлення послаблених зон в напірних частинах гребель;
 - визначення гіпсометрії покривель опорного горизонту на гідроелектростанціях.
- оцінка ефективності застосування комплексу електрометричних методів та їх можливого використання на інших ГЕС.

Кваліфікаційна магістерська робота була написана за допомогою матеріалів, які були зібрані в ТОВ «Сучасна геофізика».

Автор безпосередньо брав участь у проведенні польових електрометричних досліджень в жовтні-листопаді 2021 року (Київська ГЕС), виконаних ТОВ «Сучасна геофізика», та аналізі результатів польових електрометричних робіт, проведених в жовтні – грудні 2023 року ТОВ «Геофізтехн» (Кременчуцька ГЕС).

Методологічні засади роботи спираються на постійний моніторинг технічних споруд гідроелектростанцій із застосуванням класичних електрометричних методів інженерної геофізики та класичним методам обробки отриманих результатів.

Новизна полягає у використанні методу електротомографії як додаткового методу при дослідженнях методом вертикально електричного зондування викликаної поляризації, що дає можливість значно розширити та удосконалити розв'язок прикладних задач.

Апробація: робота пройшла апробацію в рамках XIV Всеукраїнської конференції-школи «Сучасні проблеми наук про Землю, 10-12 квітня 2024, м. Київ (назва доповіді - «Аналіз ефективності застосування комплексу електрометричних

досліджень для вивчення та оцінки технологічного стану частин гребель Київської та Кременчуцької ГЕС»).

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ГЕС – гідроелектростанція.

НПР – нормальний підпертий рівень.

ВЕЗ – вертикальне електричне зондування.

ВЧР – верхня частина розрізу.

ЕТ - електрична томографія.

ПП – природне поле.

ПЕП – природне електричне поле.

ПК – пікет.

R_k – позірний опір.

РГВ - рівень ґрунтових вод.

Рис – рисунок.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ДІЛЯНКИ РОБІТ

1.1 Фізико-географічна, геологічна, гідрогеологічна та геоморфологічна характеристика Київської та Кременчуцької ГЕС

Київська ГЕС розташована на межі південної частини Поліської низовини та північно-західної частини Придніпровської низовини.

Правобережна частина ділянки робіт розташована в межах Поліської низовини та має ухил до річки Дніпро, висоти в межах ділянки робіт не перевищують 115 м. Відклади представлені техногенними пісками з гравійно-галечниковим матеріалом, а також піщаними ґрунтами з прошарками глин, суглинків, супісків й з глибиною з'являються окатані включення перевідкладеного мергелю. На Поліській низовині розвинута незначна за густиною річкова мережа. Ділянки між річками мають плоско-хвилясту поверхню, на них спостерігаються горби і зниження.

Лівобережна частина території робіт розташована в межах Придніпровської низовини, а саме Дніпровсько-Деснянської поліської терасової рівнини, в регіональному відношенні представлена трьома основними формами рельєфу: алювіальні рівнини і терасові долини, моренно-зандрові й зандрові рівнини та лесові розчленовані рівнини. В межах лівобережної острівної та руслової греблі, лівобережної заплавної греблі, лівобережної терасової греблі та лівобережної греблі Київська ГЕС у геоморфологічному відношенні представлена акумулятивною низовинною рівниною, складеної четвертинними алювіальними заплавними та надзаплавними відкладами (пісками з прошарками супісків та суглинків) терас р. Дніпро. Абсолютні висоти в межах ділянки робіт не перевищують 110 м.

В районі споруди ГЕС можливе розповсюдження, в межах зони дослідження, двох водоносних горизонтів:

- водоносний горизонт в пісках з прошарками глин харківської серії, глибина залягання 45-50 м, який дренується сучасними врізами ярів, та долиною р. Дніпро та залягає на мергелях київської світи. Потужність водоносного горизонту до 10 м.

- водоносний горизонт у флювіогляціальних відкладах (пісок, супісок) плейстоцену середнього, який сформувався завдяки озерно-алювіальним суглинкам та глинам нижнього та середнього плейстоцену, який є водотривим. Глибина залягання від 5 до 10 метрів. Потужність від 2 до 10 метрів, в залежності від потужності водовмісних порід.

Кременчуцька гідроелектростанція (ГЕС) розташована на річці Дніпро в Україні і є однією з найбільших водно-енергетичних споруд у країні. Дніпро є однією з найбільших річок в Європі, зі значним водним потенціалом. Глибока річкова долина і наявність достатньої кількості води створюють відмінні умови для побудови великої гідроелектростанції. Поблизу річки враховуються геологічні умови для забезпечення стійкості греблі та інших гідротехнічних споруд. Це включає вивчення ґрунтів, гірських порід і гідрогеологічних умов на місці будівництва.

При побудові ГЕС врахована сейсмічна активність. Технічні рішення та матеріали конструкцій адаптовані до можливих сейсмічних навантажень.

Ділянка робіт розташована на межі південної частини Поліської низовини та північно-західної частини Придніпровської низовини.

Поліська низовина характеризується плоско-хвилястою поверхнею з горбами і зниженнями, незначною річковою мережею та пісками, гравійно-галечниковими відкладами.

Придніпровська низовина на лівобережній частині представлена терасними рівнинами, моренно-зандровими рівнинами та лесовими розчленованими рівнинами.

Правобережна частина робіт розташована в Поліській низовині з уклоном до річки Дніпро. Ґрунти представлені пісками, гравійно-галечниковими відкладами та піщаними ґрунтами з домішками глини, суглинків та супісків.

Лівобережна частина греблі відноситься до Придніпровської низовини, яка представлена алювіальними та моренно-зандровими рівнинами. Глибина

залягання водоносних горизонтів у флювіогляціальних відкладах плейстоцену становить від 5 до 10 метрів.

Територія Кременчуцької ГЕС характеризується різноманітністю рельєфу: від плоских рівнин до лісових розчленованих рівнин та терасних долин.

Акумулятивні низовини складені четвертинними алювіальними заплавними та надзаплавними відкладами, які формувалися на протязі історії розвитку річкових систем та водоймищ Дніпровсько-деснянської поліської терасної рівнини.

1.2 Клімат

Кременчуцька та Київська гідроелектростанція має певні кліматичні умови, які в цих регіонах визначаються як помірно-континентальні, що означає великі температурні коливання між сезонами та впливи атмосферних мас.

Температура взимку помірно холодна з середньою температурою січня близько $-6,0...-6,1^{\circ}\text{C}$. Абсолютний мінімум температури може сягати до -35°C . Зими помірно холодні з достатнім накопиченням снігу, що важливо для роботи гідроелектростанцій.

Літо тепле з середньою температурою липня в межах $+19,1...+19,2^{\circ}\text{C}$. Абсолютний максимум може досягати $+40^{\circ}\text{C}$

Середньорічна кількість опадів складає близько 600-650 мм, що відноситься до помірних значень. Оподи рівномірно розподілені протягом року з певним підвищенням в періоди весняних та осінніх дощів. Середня швидкість вітру приблизно 2,7 м/с, вітри переважно західні та північно-західні.

Відносна вологість повітря від 51-52% у травні до 94-95% у грудні.

Для Київської ГЕС середня тривалість безморозного періоду року – 182 дні. Середня глибина промерзання ґрунту становить:

- грудень – 22,0 см,
- січень – 58,0, лютий – 82,0,
- березень – 62,0 см.

- В найхолодніші зими спостерігалось промерзання ґрунту на глибину до 1,35...1,50 м.

Середня тривалість залягання снігового покриву – 102 календарних дні.

Середня потужність товщі снігу 15,0 – 30,0 см.

Вплив Київського водосховища на існуючий берег підвищується в наслідок бризової циркуляції, зміни швидкості вітру і атмосферних опадів.

Район згідно ПУЕ відноситься:

- по характеристичному значенню ожеледі до 2 району (вага ожеледі 12 Н/м, стінка ожеледі 16 мм);
- по швидкісному вітровому тиску – до 2 району (450 Па);
- по тиску вітру під час ожеледі до 2 району (200 Па);
- за середньорічною температурою повітря – до 3 району (8 °С);
- за мінімальною температурою повітря – до 8 району (мінус 38 °С);

За максимальною температурою повітря – до 1 району (36 °С); по середній частоті повторюваності та інтенсивності галопування проводів та тросів – до 1 району (помірне галопування).

Вплив Київського водосховища на існуючий берег підвищується внаслідок бризової циркуляції, зміни швидкості вітру і атмосферних опадів.

Щодо класифікації за ПУЕ (Правилами устрою електроустановок), Кременчуцька ГЕС відноситься наступним чином:

- Характеристичне значення ожеледі: до 2 району (вага ожеледі 12 Н/м, стінка ожеледі 16 мм).
- Швидкісний вітровий тиск: до 2 району (450 Па).
- Тиск вітру під час ожеледі: до 2 району (200 Па).
- Середньорічна температура повітря: до 3 району (8 °С).
- Мінімальна температура повітря: до 8 району (мінус 38 °С).
- Максимальна температура повітря: до 1 району (36 °С).

- Середня частота повторюваності та інтенсивність галопування проводів та тросів: до 1 району (помірне галопування).

1.3 Сейсмічні умови

Район Київської та Кременчуцької ГЕС, як і вся територія України, знаходиться в зоні помірної сейсмічної активності. Однак, сейсмічна активність в Україні взагалі є досить низькою порівняно з іншими сейсмічно активними регіонами світу.

1. Київська ГЕС.

- Район Київської ГЕС знаходиться на західній частині України, що відома своєю низькою сейсмічною активністю. Зазвичай, сейсмічні події в цьому регіоні мають низьку магнітуду і не представляють значної загрози для інфраструктури.
- Відповідно до останніх даних, в районі Київської ГЕС не відзначено серйозних сейсмічних загроз.

2. Кременчуцька ГЕС.

- Район Кременчуцької ГЕС, як і весь центральний регіон України, також характеризується низькою сейсмічною активністю.
- Сейсмічність в цьому районі зазвичай виявляється у вигляді слабких землетрусів, які рідко досягають значень, що можуть вплинути на інфраструктуру гідроелектростанції.



Рисунок 1.1 Карта загального сейсмічного районування території України
За даними цієї карти бачимо що Київська та Кременчуцька ГЕС розташовані в 6 бальній зоні сейсмічної інтенсивності.

2. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КИЇВСЬКУ ТА КРЕМЕНЧУЦЬКУ ГЕС

2.1 Стисла характеристика об'єктів

Київська ГЕС розташована в м. Вишгород та є першим ступенем Дніпровського каскаду гідроелектростанцій.

До складу гідротехнічних споруд ГЕС входять:

- правобережна земляна гребля;
- судохідний однокамерний шлюз на правому березі;
- будівля ГЕС, суміщене з поверхневими водоскидами;
- вузли спряжень (спряжені устої та масиви ґрунтових засипок);
- лівобережна земляна гребля.

Споруди ГЕС відносяться до II класу споруд і почали зводилися у 1960-х рр., а запуск першого агрегату було розпочато 1964 року, останнього (20-го) у 1968 р. Згідно проекту середньобаторічне виробництво електроенергії становить 844 млн. кВт/годин, а встановлена потужність складає – 436,5 МВт.

Повний об'єм водосховища – 3,73 км³, корисний – 1,17 км³, площа дзеркала 922 км². Довжина напірного фронту гідровузла 42,3 км, пропускна здатність 12 500 м³/сек. Відмітка НПР становить +103,000 м.

Водосховище Київського гідровузла має комплексне призначення, його водні ресурси використовуються для промислового та комунального водопостачання, зрошення та зволоження земель, гідроенергетики, рибного господарства, водного транспорту, рекреації й здійснює сезонне, щотижневе та добове регулювання стоку.

Кременчуцька гідроелектростанція (ГЕС) є однією з ключових структур Дніпровського каскаду гідроелектростанцій. Розташована у місті Кременчук на річці Дніпро в Полтавській області. Є важливим ланцюгом у виробництві електроенергії та регулюванні водних ресурсів.

Гідротехнічні споруди ГЕС:

- Правобережна земляна гребля.
- Судохідний однокамерний шлюз на правому березі.
- Будівля ГЕС, яка також включає поверхневі водоскиди.
- Вузли спряжень, включаючи спряжені устої та масиви ґрунтових засипок.
- Лівобережна земляна гребля.

Будівництво розпочалося у 1956 році, а перший агрегат запущено у 1960 році, а останній (20-й) у 1966 році. Встановлена потужність станції складає 624,6 МВт, а згідно з проектом, середньорічне виробництво електроенергії становить аж 3,12 млрд. кВт/год.

Водосховище та гідровузли:

- Повний об'єм водосховища – 13,5 км³, корисний – 2,6 км³.
- Довжина напірного фронту гідровузла становить 80 км, а пропускна здатність – 7 500 м³/сек.
- Відмітка найвищої точки гідровузла – +139,5 м.

Кременчуцьке водосховище має комплексне призначення, використовується для виробництва електроенергії, забезпечення водопостачання, рибного господарства, сільськогосподарського зрошення, водного транспорту та рекреації.

Кременчуцьке водосховище розташоване в центральній частині України, у межах чотирьох адміністративних районів – Черкаського і Золотоніського (Черкаська область), Кременчуцького (Полтавська область), Олександрійського (Кіровоградська область). Основними призначеннями водосховища є гідроенергетика, регулювання стоку Дніпра та його приток, питне і господарське водопостачання, судноплавство, рибне господарство. Узбережжя водосховища використовують переважно в сільськогосподарських, лісогосподарських, житлових і рекреаційних цілях.

Довжина Кременчуцького водосховища по осьовій лінії (у руслі Дніпра) – 149 км, максимальна ширина (у південній частині) – 28 км, максимальна глибина – 24 м. Нормальним підпертим рівнем води водосховища визначена відмітка

81,0 м. Відмітки висот правого берега сягають 160–200 м, а відмітки лівого берега не перевищують 120 м. За конфігурацією, морфометричними ознаками та гідрологічним режимом Кременчуцьке водосховище умовно поділяють на три частини: верхню (північну) – найбільш вузьку і мілководну (озерно-річкового типу, довжиною до 51 км); середню – середньої ширини і глибини (озерного типу, довжиною до 55 км); і нижню – найбільш широку і глибоководну (морського типу, довжиною до 43 км). Береги Кременчуцького водосховища сформовані переважно лесовими та суглинковими породами, легко руйнуються під час сильних штормів. Найбільші руйнування берегів відбуваються в нижній частині водосховища, з обвалюванням берегових схилів, формуванням абразивно-аккумулятивних відмілин на мілководді, замулюванням продуктами руйнування ложа водосховища, відступом берегової лінії на сушу. За весь період існування Кременчуцького водосховища через абразію (та розмив) берегів втрачено понад 2 тис. га прибережних територій. Швидкість відступу берегової лінії в окремі роки сягає 15 м. Нагальною є організація моніторингу в прибережній частині Кременчуцького водосховища, зокрема за дотриманням правил ведення сільськогосподарської діяльності.

2.2 Наземні греблі

Земляні греблі та дамби Київської ГЕС виконані за методом гідромеханізації, що передбачає намив піщаних ґрунтів. Вони мають розпластаний профіль та виконані у вигляді насипних споруд. Греблі правобережної частини мають відмітні особливості:

- Загальна довжина греблі 77,37 км, з них 21,7 км припадає на природні висоти, 13,2 км – на безнапірні ділянки, а 42,47 км – на напірні ділянки.
- Верхній укіс греблі правого берега, греблі вставки між шлюзом і ГЕС та лівобережної греблі закріплені залізобетонними плитами. Низ бетонного

кріплення має упорний бетонний зуб та кам'яне кріплення, а укіс нижче кам'яного кріплення намитий з ухилом 1:45.

- Верх бетонного кріплення закінчується парапетом-обмежувачем накатування хвилі. Гребня греблі перевищує НПР на 4,5 м.
- Дренування греблі та захист території від підтоплення вирішено за допомогою трубчатого дренажу та головної глибинної дрени каналу-кар'єру, протяжність якого досягає 70 км.

Відстань між греблею і каналом 450 – 600 м.

Для захисту сільськогосподарських угідь і села Хотянівка від затоплення повеневими водами вздовж лівого берега дренажного каналу збудована Хотянівська захисна дамба.

Таблиця 1. Основні конструктивні параметри ґрунтових споруд Київської ГЕС.

Конструктивні дані	Правобережжя на гребля	Гребля вставка між шлюзом і ГЕС	Острівна і руслова гребля	Лівобережжя на заплавна гребля	Лівобережна терасна гребля	Лівобережна дамба
1	2	3	4	5	6	7
Матеріал греблі	Піски дрібнозернисті і середньозернисті					
Довжина по гребеню, м	680	290	1300	1450	15850	30200
Ширина по гребеню, м	22	58	7	7	7	7
Найбільша висота, м	9-15	20	22,5	13,5	4,5-9	5,5
Відмітка гребеня (верх парапету)	106,00(107)	113	113	107,5	107,5	107,5
	113,00(107)	-108,5	-108,5	-108,5		
Максимальний напір при НПР, м	7	10	11,5	8,5	1,5	
Перевищення гребеня над НПР, м	3	10	10	5,5	4,5	
Закладення укосів: а) верхового	1:4; 1:45	1:4	1:3,75;	1:3,75;	1:3,75;	1:4, 1:15, 1:45
			1:45	1:45	1:45	
б) низу кріплення берми	1:3,5; 1:20	01:03,5	1:3,5; 1:20	1:3,5; 1:20; 1:25	1:3,5; 1:1,15	1:3,75

Земляні греблі та дамби Кременчуцької ГЕС також виконані методом гідромеханізації і мають подібні особливості:

- Земляні греблі і дамби виконані гідромеханізаційним способом з наливом піщаних ґрунтів та мають розпластаний профіль.
- Дренування греблі і захист території від підтоплення вирішено за допомогою трубчатого дренажу і головної глибинної дрени каналу-кар'єру, що протягом довжини досягає 70 км.
- Для захисту сільськогосподарських угідь і села Хотянівка від затоплення повеневими водами споруджена захисна дамба вздовж лівого берега дренажного каналу.

Обидві ГЕС мають схожі технічні рішення щодо конструкції земляних гребель та дамб, які спрямовані на ефективне утримання води та захист прилеглих територій від підтоплення.

2.3 Протифільтраційні та дренажні заходи

Підземний протифільтраційний контур споруди ГЕС складається з понура, металевого шпунта і фундаментної плити з верховим, середнім і низовим «зубами».

Глиняний безанкерний понур має ширину 24 м і товщину 1,5 – 2,0 м. Перед понуром проходить смуга (ширина 45,0 м) передпонурного кріплення з каменю $h = 2,0$ м. Металева шпунтова однорядна завіса глибиною 7,5 – 15,0 м прорізає всю товщу алювіальних пісків і заглиблена на 2 м в бучацькі піски з $K_{\phi} = 3-5$ м/добу проходить під верховим зубом фундаментної плити. На продовженні основної завіси виконані шпунтові відкритки 2 по 15 м і 2 по 5 м. Фундаментна плита монолітна залізобетонна товщиною 2,5 – 6 м і розмірами в плані 293,70 × 51,01 розташована на відмітках 78,60 – 80,87 (верх) і 74,50 – 77,00 (низ).

Дренажне обладнання. Між верховим і середнім «зубами» фундаментної плити по всій довжині споруди ГЕС облаштований тришаровий зворотний фільтр

(ширина 10 м, товщина 0,85 м). Фільтраційна вода відводиться по трубах в нижній б'єф.

Дренажні системи розташовані в напірних стінах і перекриття споруд.

Вертикальні бітумні шпонки по деформаційних швах споруди ГЕС розмірами в плані 140×115 см і 80×80 см заповнені асфальтовою мастикою.

Дренування греблі і захист території нижнього б'єфу від підтоплення вирішено за допомогою трубчатого дренажу і головної глибинної дрени каналу-кар'єру, виконаного вздовж всієї траси лівобережної греблі до 70-го км.

Конструкція стоянів. Лівобережні і правобережні стояни являють собою підпірні стіни сотового типу без фундаментної плити, розрізані деформаційними швами на окремі секції довжиною біля 25 м. Всього секцій на кожному стояні – 13 шт. Соти стоянів монтувались із збірних залізобетонних плит товщиною 30 см.

Підземний протифільтраційний контур споруди Кременчуцької ГЕС складається з таких елементів:

1. Понур.

- Глиняний безанкерний понур з шириною 24 м і товщиною 1,5 – 2,0 м.
- Перед понуром розташована смуга передпонурного кріплення з каменю шириною 45,0 м та висотою 2,0 м.

2. Металева шпунтова завіса:

- Однорядна завіса глибиною 7,5 – 15,0 м прорізає всю товщу алювіальних пісків.
- Заглиблена на 2 м в бучацькі піски з Кф = 3-5 м/добу.
- Проходить під верхнім зубом фундаментної плити.
- На продовженні основної завіси виконані шпунтові відкритки 2 по 15 м і 2 по 5 м.

3. Фундаментна плита:

- Монолітна залізобетонна плита з товщиною 2,5 – 6 м та розмірами в плані 293,70 × 51,01 м.

- Розташована на відмітках 78,60 – 80,87 м (верх) і 74,50 – 77,00 м (низ).

4. Дренажне обладнання:

- Між верховим і середнім «зубами» фундаментної плити по всій довжині споруди встановлений тришаровий зворотний фільтр (ширина 10 м, товщина 0,85 м).
- Фільтраційна вода відводиться по трубах в нижній б'єф.

5. Дренажні системи:

- Розташовані в напірних стінах і перекриттях споруд.

Конструкція стоянів:

- Лівобережні і правобережні стояни є підпірними стінами сотового типу без фундаментної плити.
- Розрізані деформаційними швами на окремі секції довжиною біля 25 м.
- Кожен стоянь має 13 секцій, які монтувались із збірних залізобетонних плит товщиною 30 см.

Ці елементи споруди Кременчуцької ГЕС важливі для забезпечення ефективного функціонування протифільтраційного контуру і захисту від потенційних проблем з підземною фільтрацією води та підтопленням територій.

3. МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ РОБІТ

Методи інженерної геофізики відіграють суттєву роль при вирішенні багатьох задач, однією з яких є вивчення сучасного стану гідротехнічних споруд, звичайних гребель та гребель гідроелектростанцій, виділення ділянок підвищеної фільтрації води та зон розущільнення тощо.

Інженерно-геофізичні дослідження (вишукування) входять до складу середньо- та крупномасштабних інженерно-геологічних зйомок, а також використовуються при детальних роботах, пов'язаних з проектуванням, будівництвом та експлуатацією різноманітних будівель та споруд. Об'єктом дослідження є верхня частина розрізу (ВЧР), яка характеризується значною неоднорідністю, мінливістю літологічного складу, будови та фізичних властивостей гірських порід. Ефективність інженерно-геофізичних вишукувань при вивченні складного об'єкту досягається застосуванням методів різної фізичної природи з підвищеною детальністю спостережень, отримання інтегральних характеристик, які відображають особливості будови та властивостей масиву гірських порід в його природному заляганні, можливістю багатократних спостережень без порушення будови та стану геологічного середовища. За таких обставин можна здійснювати режимні геофізичні спостереження за інтенсивністю геологічних процесів, які відбуваються під дією природних та техногенних факторів.

Всі роботи виконувалися вздовж лівобережної частини греблі двома методами, а саме вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та природного поля (ПП).

3.1. Топографо-геодезичні роботи

Метою проведення топографо-геодезичних робіт було винесення в натуру та закріплення на місцевості точок та профілів геофізичних вимірювань. Пікети для спеціальних інженерно-геофізичних вишукувань розбивались через 50 метрів та

закріплювалися на місцевості наступним чином. Відстань між профілями складала 100 метрів.

На рис.3.1. зображено ділянку проведення електророзвідувальних робіт.

На рис.3.2. – 3.3. представлено схеми з позначенням профілів ВЕЗ та ПЕП.

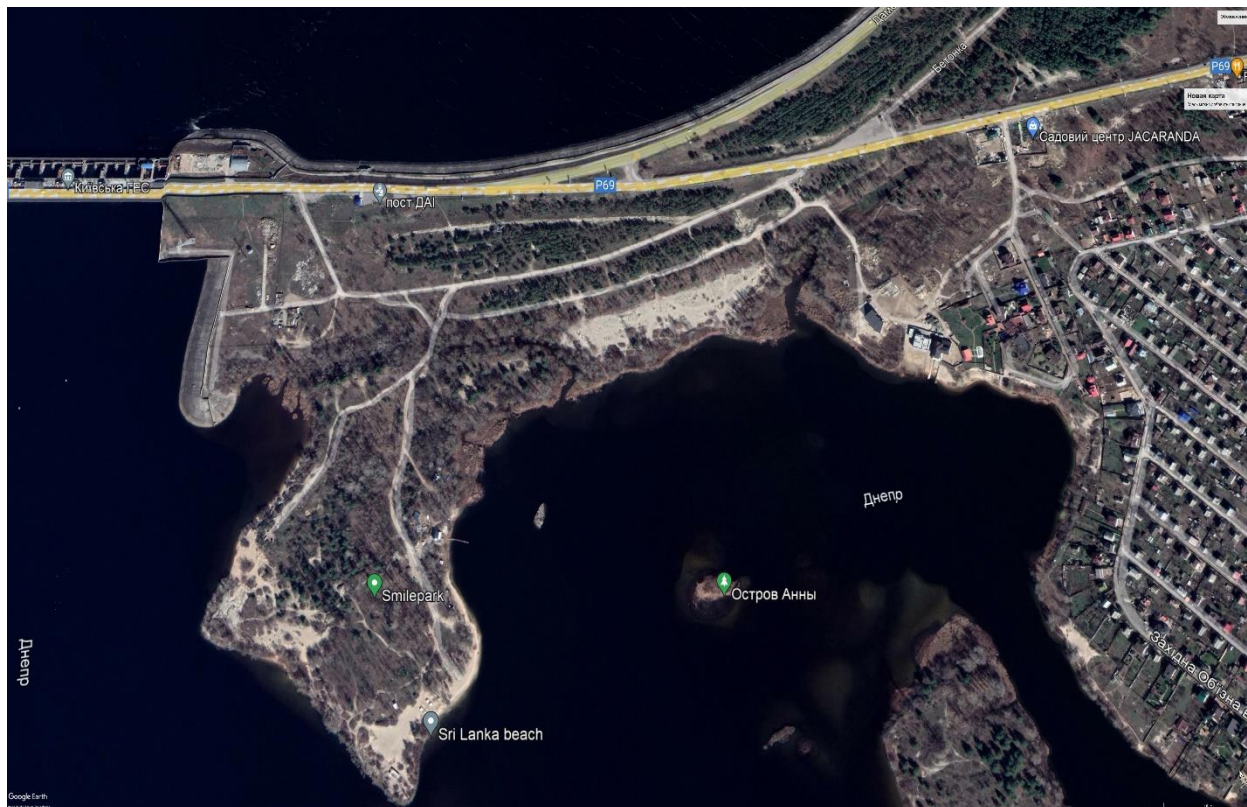


Рисунок 3.1. Супутниковий знімок ділянки проведення геофізичних досліджень на лівобережній частині Київської ГЕС.

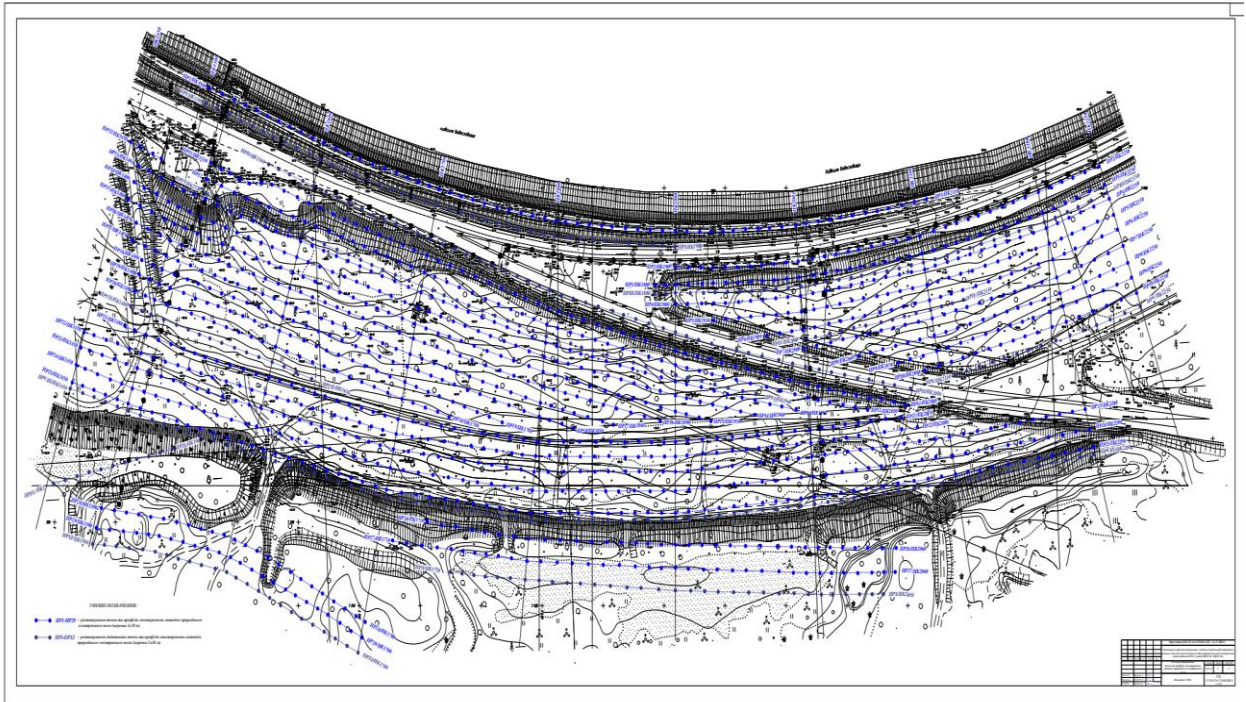


Рис.3.2. Схема розміщення профілів ВЕЗ

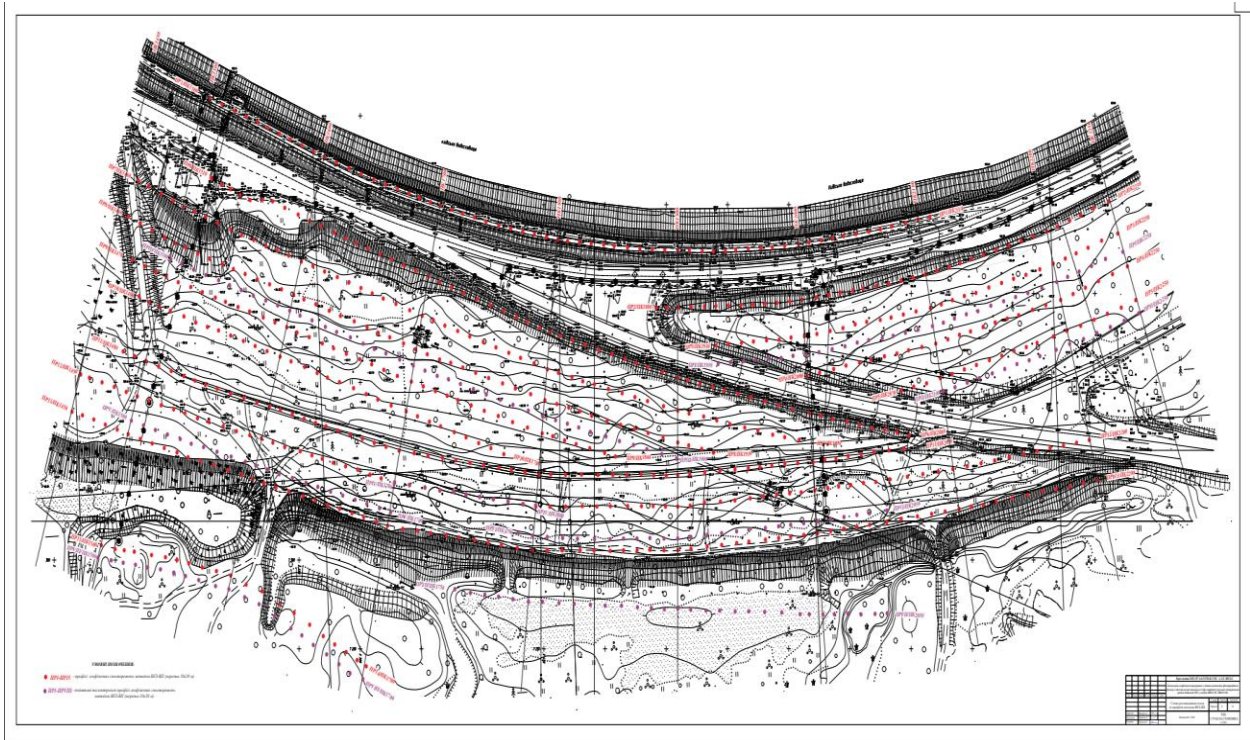


Рис.3.3. Схема розміщення досліджуваних профілів методом ПЕП

На профілях для геофізичних вимірювань пікети зондувань були прив'язані до існуючого пікетажу, який визначений за допомогою геодезичних реперів на місцевості. Нумерація пікетів на цих профілях відбувалася від початку відліку, враховуючи повну кількість метрів. Розмітка профілів проводилася за допомогою рулетки, вимірюючи відстані від існуючих геодезичних реперів. Усі пікети в межах цих профілів були прив'язані за допомогою GPS-координат у системі WGS-84 та універсальній системі UTM з використанням навігатора Garmin 62s.

3.2 Вертикальне електричне зондування

Вертикальне електричне зондування (ВЕЗ) є одним із методів геофізичного дослідження ґрунтів та геологічних структур. Воно базується на вимірюванні електричного опору ґрунтів або порід на різних глибинах.

Установка AMNB використовує чотири електроди для проведення зондування: А, В, М, та N. Звичайно, А та В є джерелами струму, а М та N вимірюють напругу. Зокрема, в цій установці $MN = 1/3 AB$, що є одним із ключових параметрів для правильної роботи установки.

Цей метод був запропонований французьким вченим Конрадом Шлюмберже на початку 20-х років ХХ століття і з того часу залишається досить поширеним у електрометричній практиці. Він застосовується для різних цілей, включаючи геологічне картографування, пошук корисних копалин, інженерно-геологічні дослідження, вивчення водних шарів (гідрогеологія) та екологічні дослідження.

Під час зондування застосовуються різні методи обробки отриманих даних, включаючи моделювання ґрунтових шарів за їхньою електричною провідністю. Це дозволяє отримувати інформацію про будову ґрунтового профілю або геологічних структур на певній території, що є важливим для багатьох геологічних та інженерних досліджень.

Монтажна схема установки AMNB для роботи методом ВЕЗ із малими розносами показана на рис.3.4.

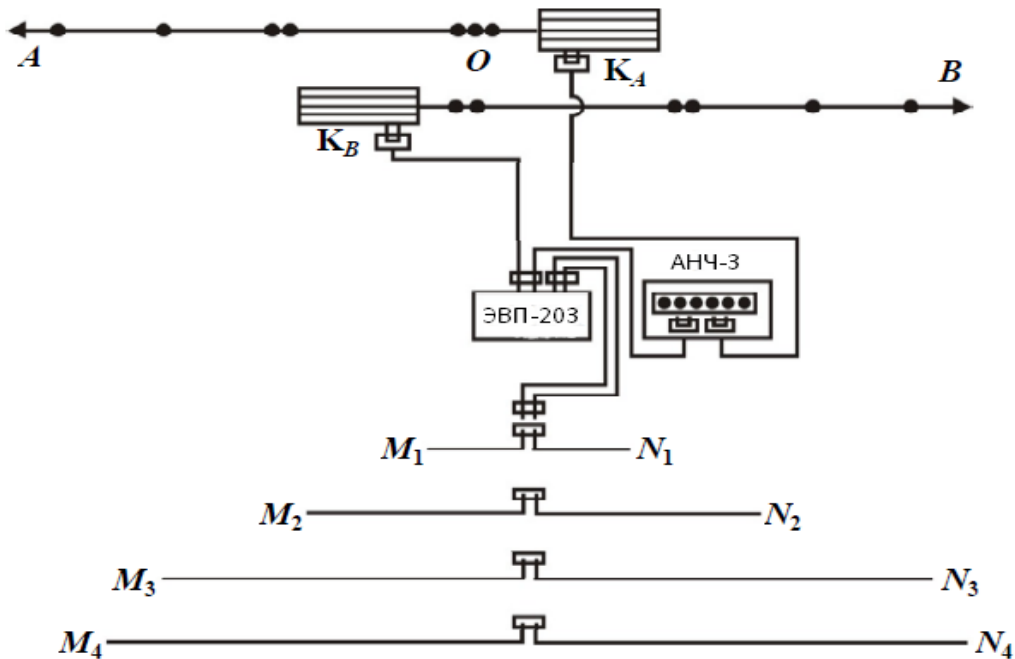


Рис.3.4. Монтажна схема установки Шлюмберже

ЭВП-203 – вимірювач, АНЧ-3 – генератор, K_A та K_B – котушки з проводами живильної лінії.

У даній системі кожна котушка на лінії живлення містить 1000 метрів проводу. Розширення розносу між живильними заземленнями А та В здійснюється через розмотування проводу з котушок. Розміри розносу встановлюються за допомогою "міток" на проводах, які вказують відстань від початкової мітки до зовнішнього кінця проводу, що дорівнює відповідному піврозносу між живильними заземленнями. За допомогою двох котушок, що розташовані посередині установки, можна здійснити зондування з максимальним розносом живильних заземлень до 1000 метрів.

Зі збільшенням розносу АВ відбувається зменшення різниці потенціалів між заземленнями приймальної лінії MN через геометричне згасання поля, що призводить до зменшення значення ΔU . Після досягнення певного розносу АВ виміри проводяться із більшим розносом вимірювальних заземлень, щоб збільшити значення ΔU . Розміри розносів АВ обираються таким чином, щоб кожен наступний рознос збільшувався у 1.5 рази відносно попереднього. Це забезпечує рівномірне розташування точок на логарифмічній сітці бланка, на якому

побудовано графік ВЕЗ, де залежність позірного опору від піврозносу живильної лінії.

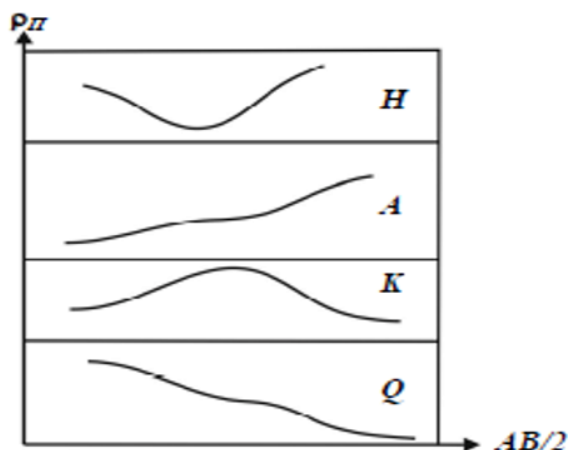


Рис.3.5. Типи тришарових кривих ВЕЗ.

Криві вертикального електричного зондування (ВЕЗ) різняться за типами, подібно до геоелектричних розрізів. Тришарові криві ВЕЗ відомі типами Н, А, К і Q. Типи багат шарових кривих ВЕЗ визначаються так само, як і типи багат шарових геоелектричних розрізів.

Вертикальне електричне зондування проводилося на правобережній та лівобережній частинах гребель з кроком спостережень 25 метрів. Основна мета була виокремлення зон провідності та вивчення гіпсометрії покрівлі опорного горизонту високого опору, що відповідає поверхні незмінених порід з моменту побудови греблі. Також важливим було картування можливих змін у горизонті через змивання опорних споруд та побудову горизонту. Під час будівництва греблі було пробурено до 70 свердловин глибиною в основному 10 метрів, а також кілька свердловин на глибину 30 метрів. Результати спостережень на свердловинах з пікетів 38 по 55 показані на рисунку 3.6.

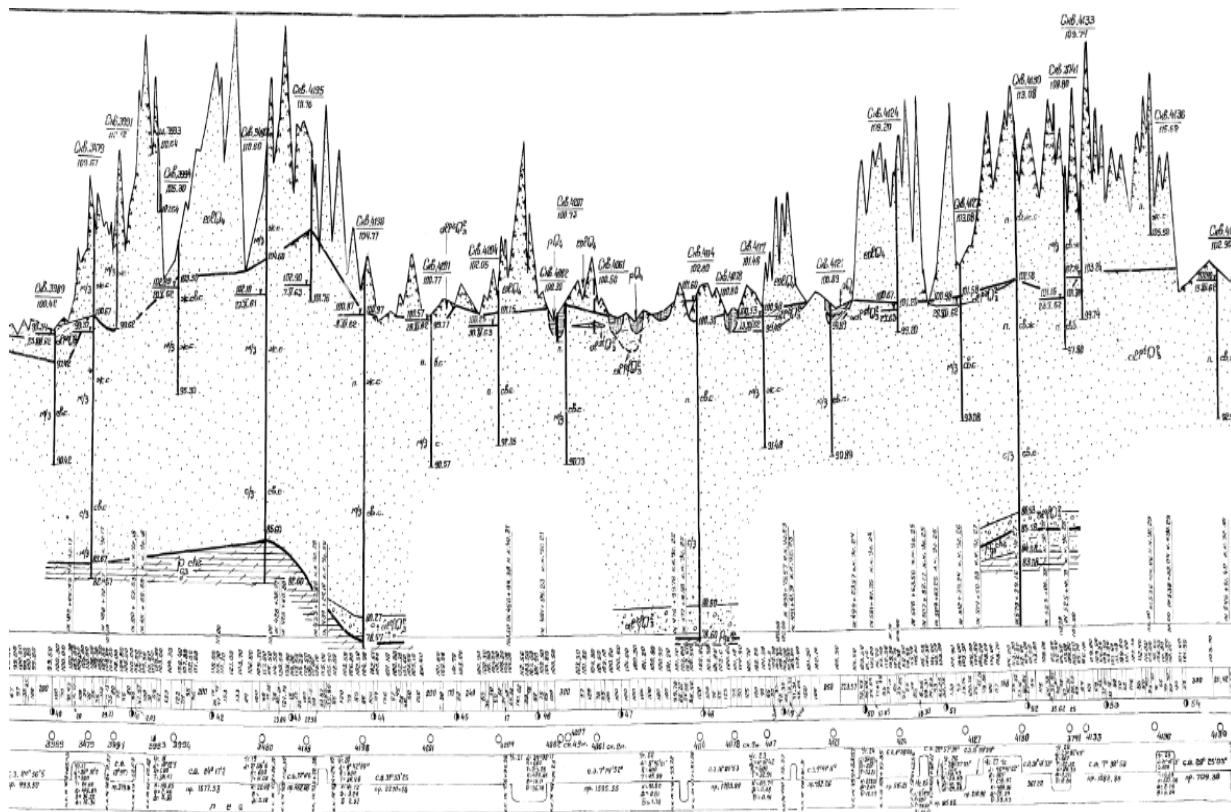


Рис.3.6. Фрагмент горизонту 60х років Київської ГЕС (ПК 38-55).

Вертикальне електричне зондування проводилося вимірювальною апаратурою ЭВП-203 та низькочастотним генератором АНЧ-3.



Рис.3.7. Низькочастотний вимірювач ЭВП-203.

ЭВП-203: Це вимірювальна апаратура, яка використовується для зондування електричного опору ґрунтів на різних глибинах. Вона може мати різні конфігурації,

але основна принципова схема включає в себе джерела струму та вимірювальні електроди для реєстрації напруги. Вимірювальна апаратура здатна реєструвати величини електричного опору на різних глибинах під землею.



Рис.3.8. Низькочастотний генератор АНЧ-3.

АНЧ-3: Це низькочастотний генератор, який генерує струм низької частоти. Його використовують як джерело струму для електричного зондування. Використання низьких частот дозволяє отримувати додаткову інформацію про електричну провідність ґрунтів на різних глибинах.

Дослідження проводилося вздовж кількох профілів біля дороги та лівого узбережжя річки Дніпро, що забезпечувало сприятливі умови для вимірювань. Для цього була використана установка Шлюмберже. Живильна лінія АВ складалася з двох спеціальних геофізичних алюмінієвих електродів, спеціально призначених для польових вимірювань. Рознос лінії АВ/2 становив максимум 100 метрів. Вимірювальна лінія MN складалася з двох спеціальних геофізичних мідних електродів. Довжина вимірювальної лінії складала MN/2 – 1 та 5 метрів. На рисунку 10 зображено електроди АВ та намотану на один з живильних електродів лінію MN.

Підключення та робота з вимірювачем ЭВП-203 включає наступні кроки: спочатку під'єднуємо зовнішній акумулятор та лінію MN до вимірювача, перевіряємо стан батареї на тумблері «КОНТРОЛЬ» в позиції «АКУУМ», а потім виставляємо режим «КАЛІБРОВКА» та вимірюємо значення з використанням регуляторів «ГРУБО» та «ПЛАВНО» на електронному табло. Далі вмикаємо низькочастотний генератор, натискаємо кнопку U, обираємо потрібне значення «ПРЕДЕЛ» та записуємо значення ΔU у польовий журнал. Важливою особливістю була можливість швидко переключати рознос MN з 1 на 5 метрів та навпаки за допомогою тумблера.



Рис.3.9. Живильна лінія АВ та вимірювальна лінія MN.

Робота з низькочастотним генератором АНЧ-3 передбачає наступні кроки: спочатку перевіряємо стан батареї за допомогою шкали: якщо стрілка знаходиться у червоній зоні, це означає, що можна приступати до роботи, а якщо в зеленій зоні, потрібно зарядити батарею. Після перевірки заряду вмикаємо генератор і вибираємо вихідний струм за допомогою тумблера (доступні три положення: 10 мА, 31.6 мА та 100 мА), враховуючи вміщуючі породи. Вимірювання проводились при струмі 10 мВ з початковим розносом до 50 метрів АВ/2.

Під час роботи з генератором варто слідкувати за індикацією на приладі: якщо червона лампа світиться після ввімкнення, це означає, що відбувся відмінний контакт, і оператору слід вимкнути генератор та перевірити з'єднання. Якщо лампа мигає червоним, це може вказувати на поганий контакт у самій апаратурі, тому потрібно очистити вилку та переставити її назад.

Усі виміри за допомогою апаратури ЕВП-203 та АНЧ-3 були проведені мною особисто під час роботи.



Рис.3.10. Фото проведення ВЕЗ на профілі

3.3 Електрична томографія (ЕТ)

Методика польових робіт методом електротомографії представляє собою комплекс, що включає польові спостереження з технологією первинної обробки та інтерпретації польових даних [1, 2]. Комплекс дозволяє багаторазове використання в якості живильних та вимірювальних одних і тих же положень електродів фіксованих на профілі спостережень. Такий підхід дозволяє зменшити

або збільшити загальну кількість числа робочих положень електродів при істотній зміні щільності вимірювань в порівнянні зі звичайними вертикальними електричними зондуваннями. Рівновіддаленість електродів дає змогу отримувати значення позірною електричного опору по вертикалі як в логарифмічному масштабі (як це реалізується в класичному варіанті зондувань методом ВЕЗ), так і в лінійному [3].

3.4 Методика спостереження методом природного поля.

Як додатковий і комплексний метод контролю над можливими фільтраційними потоками, був використаний метод природного поля. Цей метод традиційно та ефективно використовується для відслідковування фільтраційних потоків через гідротехнічні споруди. В контексті вирішення поставлених задач, він застосовувався як додатковий і супутній метод для забезпечення більшої комплексності та контролю.

Метою цих польових досліджень було виявлення та точне визначення ділянок фільтрації підземних вод через греблю Київського водосховища. Для цього був обраний метод природного електричного поля, який передбачав проведення профільно-площинних спостережень у різних частинах греблі та дамби станції та їх примикання.

Польові роботи здійснювалися відповідно до «Інструкції з електророзвідки (метод природного поля)» і включали в себе вимірювання потенціалу на кожному кроці спостереження, який становив 25 метрів. Для цих цілей використовувалося три пари неполяризованих електродів ЕПМС – П, що забезпечували необхідну точність вимірювань та мали власну поляризацію не більше $\pm 1 - 2$ мВ. Типовий неполяризований електрод ЕПМС-П показаний на рисунку 12. для деталізації методу використання.



Рис.3.11. Неполяризований електрод ЕПМС-П.

Процес підготовки та контролю електродів у полі був дуже ретельним та систематичним. Електроди встановлювалися у спеціально підготовлені лунки, щоб забезпечити максимальний контакт з ґрунтом. Щогодини проводився контроль їхнього стану, включаючи перевірку герметичності мідного стержня в отворі пробки, чистоти поверхні пробки та рівня розчину купоросу, а також вимірювання власної поляризації. На завершення робочого дня електроди дбайливо відмивалися від землі, доливалися купоросом та зберігалися у посудині з розчином мідного купоросу.

Для здійснення вимірювань використовувалася вимірювальна апаратура Mastech MS8260B, яка дозволяла здійснювати точні вимірювання різниці потенціалів. Для з'єднання електродів з вимірювальним пристроєм використовувався спеціальний провід ГПСМПО, який був намотаний на легку малогабаритну котушку, що спрощувало транспортування та використання на місці робіт. Монтажна схема з'єднання зображена на рисунку 13 для надання уявлення про організацію робіт та взаємозв'язок між компонентами системи вимірювання.

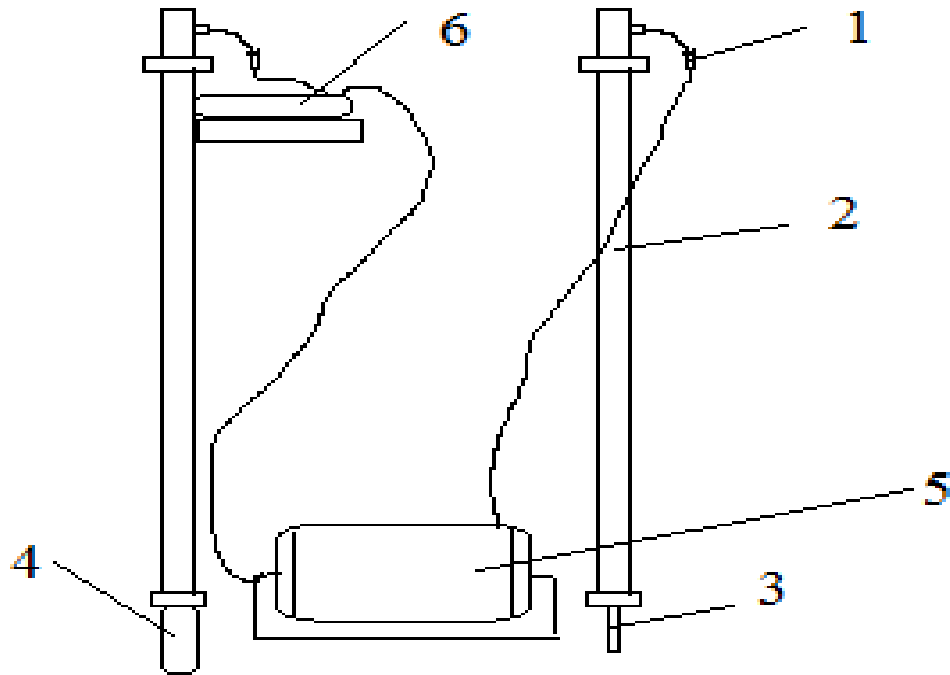


Рис.3.12. Монтажна схема вимірювання природного поля неполяризованими електродами: 1-контакт для підключення до неполяризованого електроду, 2-пластиковий корпус, 3-мідний стержень, 4-ємність, в яку заливається мідний купорос та закручується в корпус електрода, 5-котушка, 6-мультиметр.

Неполяризовані електроди типу ЕПМС – П мають перевагу у тому, що під час виконання польових робіт необов'язково постійно доливати чи замінювати купорос. Це дозволяє працювати з ними протягом 2-3 тижнів за одним заливом. Коли різниця потенціалів починає збільшуватися, варто вже замінити купорос. Такий підхід забезпечує економію часу та зберігає стабільність вимірювань протягом тривалого періоду роботи з електродами.

3.4.1 Теоретичні відомості.

Метод природного електричного поля є унікальним у своєму роді, оскільки він базується на природних полях, які виникають самостійно, а не штучно створених полях.

Основні природні постійні електричні поля виникають у зв'язку з дифузійно-адсорбційними, фільтраційними та окислювально-відновними процесами, які мають місце в гірських породах.

Особливу увагу слід звернути на фільтраційні електричні поля, які формуються внаслідок фільтрації рідин у породах. Уявімо собі пористу породу як систему капілярів, де відбувається фільтрація підземних вод. Внаслідок адсорбції іонів на твердих стінках капілярів утворюється подвійний електричний шар. У капілярах виникає потік дифузних іонів, що створює різницю потенціалів.

Інтенсивність та структура окислювально-відновних полів залежить від різних факторів, таких як окислювально-відновна активність, розміри рудних тіл, глибина їх залягання, особливості гідрогеології та клімату. Амплітуда цих полів може сягати значень до сотень і навіть 1200 мВ.

Застосування методу природного електричного поля дозволяє отримувати важливу інформацію про фільтраційні процеси та окислювально-відновну активність у гірських породах, що є важливим для багатьох геологічних та гідрогеологічних досліджень.

Природні електрохімічні поля, зокрема окислювально-відновні, є складною системою, яка виникає внаслідок різноманітних процесів у природних електронних провідниках, особливо у тих, що знаходяться у середовищі з іонним складом.

Ці електричні поля найчастіше спостерігаються на родовищах сульфідних поліметалічних та залізних руд, а також у графіту й антрациту. Поява таких полів пов'язана з різницею потенціалів на контактних поверхнях рудних тіл з навколишнім середовищем, що призводить до утворення електричних полів.

Вимірювання природного електричного поля виконують за допомогою неполяризованих електродів, що дозволяє уникнути систематичних похибок, пов'язаних з електродними потенціалами. На відміну від звичайних металевих електродів, неполяризовані електроди використовують насичений розчин солі того ж металу, що робить електродний потенціал стабільним протягом вимірювань.

Ця методика дозволяє визначити істинне значення природного електричного поля в землі, оцінити різницю потенціалів та уникнути впливу електродних потенціалів на вимірювальні результати. Такий підхід забезпечує точність даних та відсутність додаткових похибок, що дозволяє ефективно використовувати природне електричне поле для досліджень в геології та геофізиці.

3.4.2. Загальні вимоги по “Інструкції з електророзвідки” для неполяризованих електродів.

Для ефективної польової розвідки застосовуються неполяризовані електроди. Основні вимоги та процеси підготовки для цього методу можна узагальнити так:

1. Кількість електродів: для виконання польових досліджень методом ПП необхідно мати комплект з чотирьох або більше неполяризованих електродів.

2. Вибір найменшої поляризації: Перед виходом у поле кожного дня вибирається пара електродів з найменшою поляризацією, шляхом встановлення їх попарно в різних комбінаціях у вологій землі та вимірювання різниці потенціалів.

3. Підготовка до заземлення електродів: Для заземлення електродів використовується саперна лопатка для створення ямок глибиною 5 – 8 см. Електроди встановлюються в ямки так, щоб торкалися землі тільки своєю пористою поверхнею.

4. Догляд та зберігання електродів: Після завершення робочого дня електроди відмиваються від залишків землі, доливають купорос і зберігаються у посудині з розчином мідного купоросу для підтримання стабільної поляризації.

5. Методика зйомки: Зйомка природного електричного поля проводиться площинно, з використанням сітки профілів для вимірювання електричного поля. Польові роботи включають два етапи: пошукову зйомку для визначення масштабів та детальну зйомку природного поля у межах аномалій.

Ці процеси та вимоги спрямовані на отримання надійних та точних результатів електророзвідки у польових умовах за допомогою неполяризованих електродів.

3.4.3. Спосіб потенціалів.

Суть цього методу полягає у тому, що ми вимірюємо потенціал кожної точки на профілі відносно однієї вихідної точки. Ця вихідна точка може бути початковою точкою профілю або базовою точкою, яка зазвичай знаходиться у центрі довгого профілю.

Перед початком роботи на кожному профілі і після закінчення зйомки визначається власна поляризація електродів. Якщо величина поляризації перевищує 2 мВ, рекомендується замінити розчин в електродах на свіжий.

Після завершення зйомки всього планшета для виведення даних в єдиній системі вимірюють потенціали початкових точок на кожному профілі відносно початкової точки одного з профілів, яка є базовою для всього планшета зйомки. Такий підхід допомагає узгоджувати дані з різних профілів для подальшого аналізу.

3.4.4. Спосіб градієнт-потенціалу.

У цьому методі вимірюють різницю потенціалів між сусідніми точками під час руху вздовж профілю під час польових робіт. За цими різницями потенціалів визначають потенціали всіх точок у досліджуваній області відносно однієї базової точки.

Основна інтерпретація результатів зйомки природного електричного поля може бути як якісною, так і кількісною.

4. ОБРОБКА ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ПОЛЬОВИХ ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

4.1. Обробка результатів вертикальних електричних зондувань.

Для якісної та кількісної інтерпретації результатів вертикального електричного зондування необхідно виконати кілька кроків обробки польових матеріалів:

1. Перевірка правильності обчислення різниці потенціалів у польовому журналі.
2. Побудова польових кривих варіації електричного залежного (ВЕЗ) на спеціальних логарифмічних бланках або в журналі ВЕЗ.
3. Створення карти ізопотенціалів (ізоом).
4. Використання програми Surfer для візуалізації даних ВЕЗ та побудови поверхонь.

Вертикальне електричне зондування проводилося на лівобережній частині прилягаючого узбережжя Київської ГЕС з інтервалом вимірювання 50 м. Обробка даних виконувалась за допомогою програми Surfer 15 на персональному комп'ютері.

Хоча Surfer вважається застарілим, він має зручні засоби для відображення функцій та полів у вигляді ліній рівня (ізоліній) та поверхонь. Встановлення Surfer є простим, оскільки програму можна запустити безпосередньо з виконувального файлу Surfer.exe, не потребуючи складної процедури встановлення.

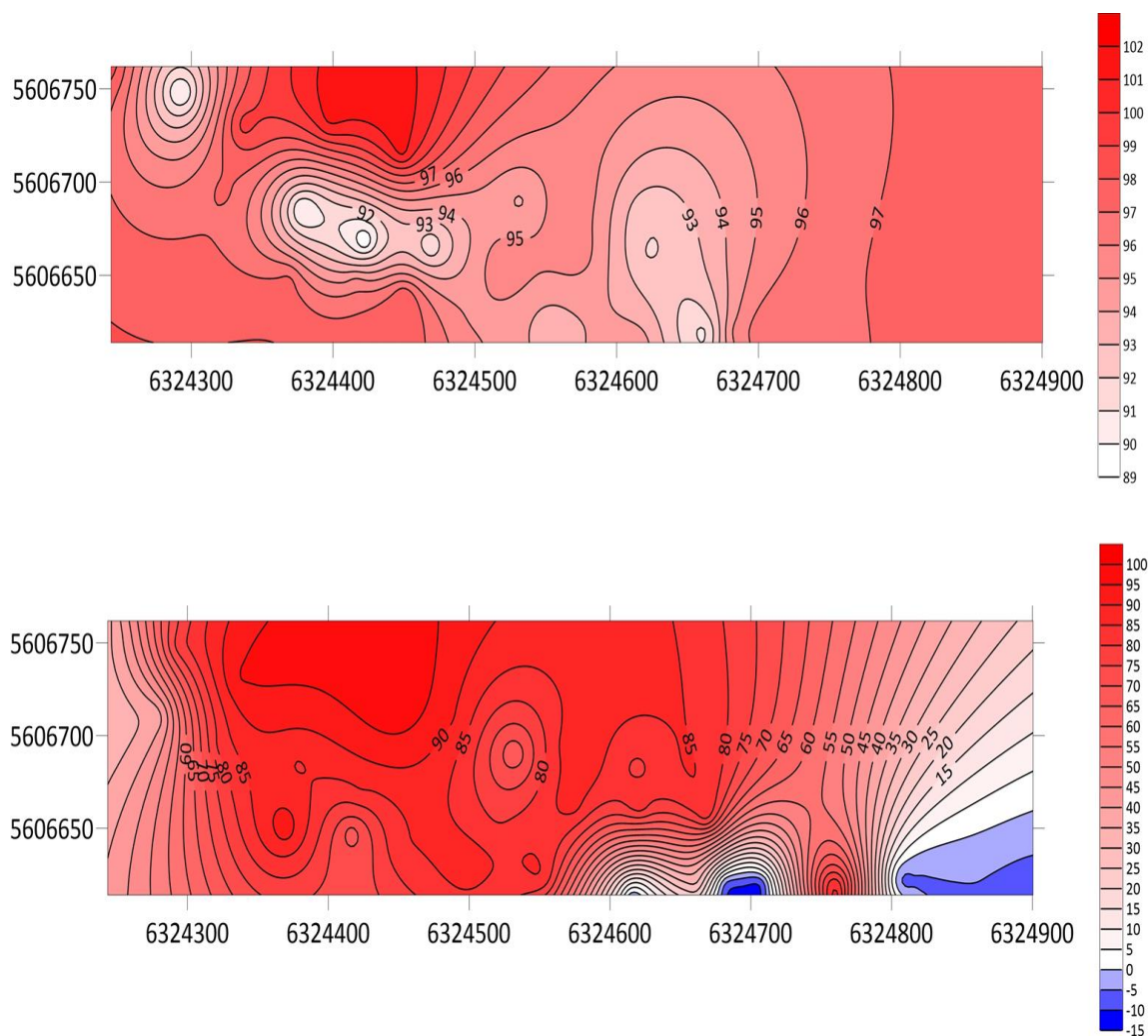


Рис. 4.1. Карта вертикально електричного зондування позірного опору Київської ГЕС.

Вертикальне електричне зондування методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВП) проведене на русловій та заплавної частинах лівобережної греблі Кременчуцької ГЕС по семи основних профілях (№№ 3, 6, 7, 8, 9, 12) з поверхні землі з кроком спостережень 10 м в об'ємі, довжина установки складала до 100м.

Роботи даним методом були спрямовані на виділення зон провідності, вивчення гіпсометрії покрівель опорного горизонту низького опору (київський мергель), корінних пілуватих, мілких пісків, визначення та картування рівня ґрунтових вод на ділянці досліджень, а також картування зон можливих змін в насипному горизонті внаслідок фільтрації підземних вод та його багаторічного промивання.

Якісна інтерпретація кривих електричного зондування була зосереджена на визначенні загальних закономірностей геологічної будови ділянки, аналізу зв'язків

між особливостями будови геоелектричного розрізу та параметрами кривих електричних зондувань, а саме, були визначені типи кривих ВЕЗ ділянки та проведений детальний аналіз вертикальних розрізів позірних опорів опрацьованих профілів.

За результатами проведеного аналізу встановлено основні два типи кривих ВЕЗ:

1. Тришарові криві типу Q ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$), що становлять більш, ніж 90 % від спостережених;
2. П'ятишарові криві типу КНQ ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$), що складають близько 10 %.

Обидва типи кривих електричних зондувань, однозначно показують, що в підвалинах геоелектричного розрізу залягає шар низького опору, який на лівобережній русловій і заплавної частинах Кременчуцької ГЕС представлений мергелистими глинами з пониженими значеннями позірних опорів. Встановлено, що п'ятишарові криві типу КНQ майже в рівній мірі присутні на профілях 3, 6, 7, 8, на профілі 9 – лише в окремих випадках, а на профілі 12 такий тип кривих ВЕЗ взагалі відсутній. Пояснення цьому було знайдено при подальшому аналізі карт вертикальних позірних опорів та підтверджено за результатами кількісної інтерпретації.

Вертикальний розріз позірних опорів – це карта ізоом позірного опору, яка будується у вертикальній площині, яка співпадає з профілем досліджень та відображається як поле ізоліній рівних значень ρ_{Π} . Отримані вертикальні розрізи якісно відображають особливості реального геоелектричного розрізу ділянки. Для більшої виразності вони представлені з різною кольоровою тональністю відповідно до значень ρ_{Π} . Крім поставлених задач по розчленуванню геоелектричного розрізу та визначення орієнтовного рівня ґрунтових вод, побудова таких розрізів дає можливість встановити зони розповсюдження високоомних і провідних горизонтів, напрямок падіння верств розрізу, за наявності вузьких високоградієнтних, переважно вертикальних областей визначати розломні порушення і т. ін. Саме на

цьому етапі інтерпретації було встановлено існування зон підвищеного позірного опору зі значення останнього $\rho_{\text{п}} > 1200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ в межах техногенних ґрунтів насипного шару греблі. Вони більш детально були вивчені та проінтерпретовані за результатами кількісної інтерпретації.

Кількісна інтерпретація польових даних методом ВЕЗ-ВП здійснювалася із застосуванням програми Res2Dinv, яка базується на алгоритмах профільної інтерпретації одновимірних прямих і обернених задач даних електричних зондувань.

На першому етапі кількісної інтерпретації були використані дані якісної інтерпретації з аналізу позірного опору ділянки та типових кривих ВЕЗ з використанням доступних апріорних даних. Приклад інтерпретації параметричних кривих ВЕЗ за допомогою програмних засобів наведений на малюнках.

На другому етапі отримані моделі було перенесено на інші точки ділянки досліджень. Моделі для кожної точки редагувалися з урахуванням особливостей спостережених даних. При цьому застосовувалися як методи автоматичного підбору, так і інтерактивна інтерпретація.

4.2 Електротомографія.

Інтерпретація результатів електричних зондувань поділяється на якісну та кількісну.

Якісна інтерпретація кривих спрямована на визначення загальних закономірностей геологічної будови району досліджень та оцінки імовірних зон знаходження тих чи інших геологічних структур. Методи якісної інтерпретації засновані на зв'язку між особливостями будови геоелектричного розрізу і параметрами кривих електричних зондувань. Зазвичай на етапі якісної інтерпретації виконують побудову різних карт і графіків, а саме: а) карти типів кривих зондувань; б) карти ізоом; в) вертикальні розрізи ізоом; г) карти ізоліній сумарної поздовжньої провідності та ін.

Кількісна інтерпретація кривих полягає у визначенні потужностей і питомих опорів геоелектричних горизонтів. Головним способом кількісної інтерпретації на сьогодні є – спосіб автоматизованого підбору (комп'ютерний).

В основі автоматизованих методів інтерпретації покладена та ж сама ідея методу підбору, яка використовується і в палеткових способах інтерпретації, тобто комп'ютер за спеціально розробленими програмами виконує в автоматизованому режимі підбір такої теоретичної кривої електричного зондування, яка найкраще збіглася б з експериментальною [3].

Основним результатом робіт є, як правило, геоелектричні розрізи, побудовані на основі кількісної інтерпретації кривих зондувань.

Інтерпретація результатів ЕТ проводиться по дво- та тривимірним моделям, що дозволяє вирішувати більш складні комплексні завдання.

Спостереження методом ЕТ виконувалися по 9-ти профілям з мережею 10x10 м. Профілі спостережень були орієнтовані з півдня на північ ділянки досліджень, схема розташування профілів планово співпадає зі схемою природного поля.

За результатами спостереження методом ЕТ загальний обсяг склав **271** фізичні точки. Загальний обсяг контрольних та повторних спостережень склав 5% від кількості рядових точок.

Абсолютна похибка інверсії електрометричних даних склала для профілю 6 п'ята ітерація – 3,9%, профілю 8 – 6,1%, профілю 12 – 3,4% - четверта ітерація.

Інтерпретація даних ЕТ була проведена у два етапи: на першому етапі при виконанні польових спостережень здійснювалася первинна обробка та інтерпретація польових матеріалів, яка полягала в інверсії електрометричних досліджень і побудові так званих «псевдоелектричних» розрізів, що більш відомі як вертикальні розрізи позірних опорів. Останні відіграють важливу роль при якісній інтерпретації електричних зондувань, оскільки є основною якісною

характеристикою геоелектричного розрізу по профілю дослідження. Другий етап включав побудову та аналіз власне геоелектричних розрізів.

4.3 Природне поле

При інтерпретації даних спостережень методом природного поля з метою виявлення та локалізації ділянок фільтрації підземних вод через руслову та заплавну частини греблі Кременчуцького водосховища були враховані наступні положення, що знайшли своє неодноразове підтвердження при аналізі результатів всіх земляних гребель Дніпровського каскаду електростанцій:

- у районах розвитку фільтраційних процесів від'ємними аномаліями природного поля фіксуються області притоку води, а додатними – області її розвантаження;
- при інженерно-геологічних і гідрогеологічних дослідженнях, особливо детальних, зйомка природного поля дає інформацію про напрямки фільтрації підземних вод;

фільтраційні поля, які вивчаються можуть досягати десятків і навіть перших сотень мілівольт.

З метою виявлення та локалізації ділянок фільтрації підземних вод через руслову та заплавну частини греблі Кременчуцького водосховища були проведені польові площинно-профільні спостереження методом природного електричного поля. Вони виконувалися згідно «Інструкції з електророзвідки (метод природного поля)».

Для проведення робіт використовувалося чотири пари неполяризованих електродів ЕПМС – П, власна поляризація яких задовольняла всі інструктивні вимоги та не перевищувала $\pm 1 - 2$ мВ. З метою досягнення найбільш щільного контакту поверхні електродів з ґрунтом при проведенні польових досліджень готувалися спеціальні лунки. В процесі польових спостережень здійснювався погодинний контроль технічного стану електродів: перевірка герметичності мідного стержня в отворі пробки, чистота поверхні пробки, нормальний рівень

розчину купоросу, визначалася їх власна поляризація. У кінці робочого дня електроди відмивалися від налиплої землі, доливалися купоросом і встановлювалися у посудину з розчином мідного купоросу. В якості вимірювальної апаратури використовувалася Mastech MS8260B. Для з'єднання електродів з вимірювальним приладом використовувався спеціальний провід ГПСМПО, який був намотаний на легку малогабаритну котушку.

Руслова та заплавна частини лівобережної греблі Кременчуцької ГЕС покриті мережею профілів, які мають субмеридіанальний напрямок (з півдня на північ). Польові дослідження методом ПЕП виконані по 15 профілям з кроком спостереження 10 м від ПК 30+00 до ПК 64+00. Довжина кожного профілю складала 3400 м. Загальна площа ділянки досліджень складає 0,544 км². Польові спостереження методом природного електричного поля здійснювалася методом потенціалу.

Перед початком рядових спостережень початкові (нульові) точки спостережень, що утворили магістраль були ув'язані між собою за результатами прямого та зворотного ходів. Середнє значення $U_{\text{сер.}}$ між нульовими точками профілів за результатами прямого та зворотного ходів

$$U_{\text{сер.}} = (U_{\text{пр.}} + U_{\text{звор.}})/2 \quad (4.1)$$

не перевищувало потрійної величини середньої абсолютної похибки, яка обчислювалася за формулою

$$\delta_{\text{сер}} = \sum \delta_i / 2i, \quad (4.2)$$

де δ_i – абсолютна похибка на окремих точках (допускається до ± 15 мВ); i – число повторних і контрольних спостережень.

Точки спостереження потенціалу ΔU на ділянці руслової та заплавної частин греблі були відзняті, а деякі серед них були контрольними.

Середня похибка спостережень $\delta_{\text{сер}}$ при профільній зйомці склала +4,1 мВ (не повинна перевищувати ± 5 мВ).

5. РЕЗУЛЬТАТИ РОБІТ

5.1. Київська ГЕС

5.1.1. Вертикальні електричні зондування

Відповідно до методики, описаної в *(Вишва та ін., 2013)*, ця методика передбачає послідовний обрахунок поправок до електричного поля за припущенням, що збільшення розносів установки призводить до збільшення (чи зменшення) дійсного опору порід залежно виключно від глибини. Таким чином зміна значень для сусідніх пікетів може бути апроксимована через лінійний закон – і так само для сусідніх величин розносів.

Для обрахунку далі зазначених величин використовувався програмний пакет Excel, для візуалізації самих розрізів – Surfer.

На наступному кроці було розраховано приріст позірного опору на кожному розносі. Оскільки таке віднімання неможливе на найпершому розносі, було знехтувано опорами на найменших глибинах – 3 м, – оскільки цільові зони греблі та можливі руйнування все ж залягають в її основі. Розрахунок виконано за формулою *(Вишва та ін., 2013)*:

$$\Delta_j(r_i) = \rho_j(r_i) - \rho_j(r_{i-1}) \quad (\text{Форм. 5.1})$$

де i – номер розносу, j – номер пікета на профілі.

Далі для кожного розносу було розраховано середнє значення приросту позірного профілю за значеннями всього профілю:

$$\Delta_{\text{сеп}}(r_i) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \Delta_j(r_i) \quad (\text{Форм. 5. 2.})$$

І за допомогою нього розраховано відносний приріст позірного опору – вертикальну нормовану похідну (Рисунок 3):

$$\delta_j(r_i) = \Delta_j(r_i) - \Delta_{\text{сеп}}(r_i) \quad (\text{Форм.5.3})$$

На останньому кроці визначено найменше значення позірного опору по профілю для кожного розносу і розраховано повну вертикальну похідну для даного параметра:

$$\delta^{\prime}_j(r_i) = \delta_j(r_i) - \delta_j(r_i)_{min} \quad (\text{Форм. 5.4.})$$

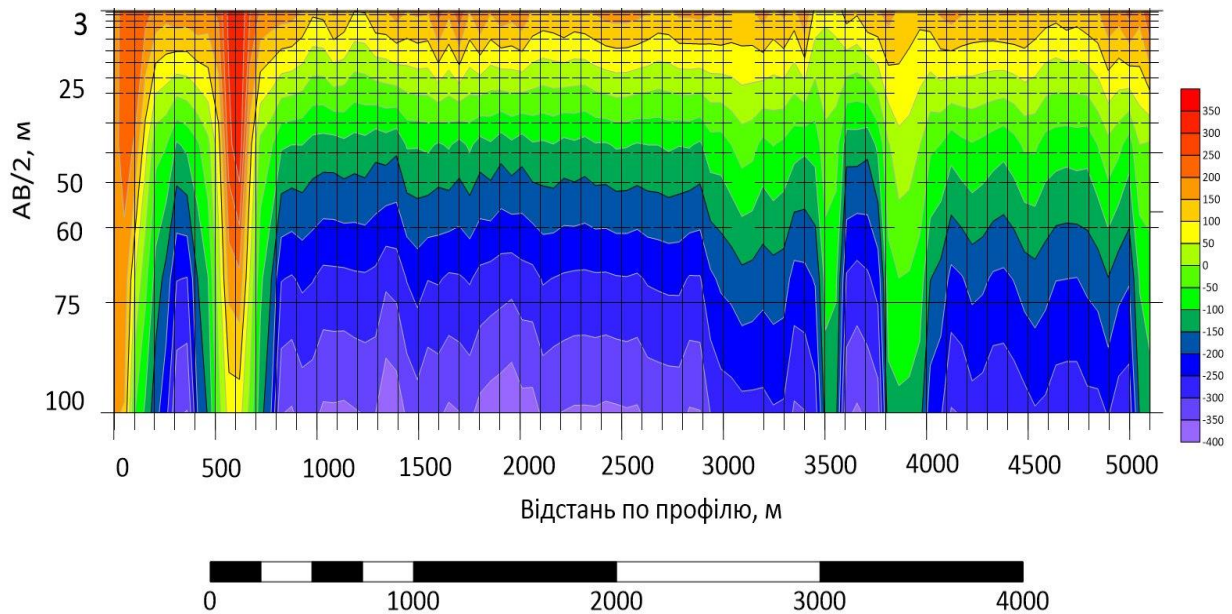


Рис.6.2. Розріз повних вертикальних похідних на профілі Київської ГЕС

Таким же чином пораховано параметри для визначення повної горизонтальної похідної:

$$\Delta_i(x_j) = \rho_i(x_j) - \rho_i(x_{j-1}) \quad (\text{Форм. 5.5.})$$

$$\Delta_{\text{сеп}}(x_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n \Delta_i(x_j) \quad (\text{Форм. 5.6})$$

$$\delta^{\prime}_i(x_j) = \delta_i(x_j) - \delta_i(x_j)_{min} \quad (\text{Форм. 5.7.})$$

Відповідні результати представлено на рисунках 5-7. Оскільки розрахунок «зрізає» один пікет, для якого неможливо виконати віднімання, результуючі розрізи мають довжину менту на 100 м.

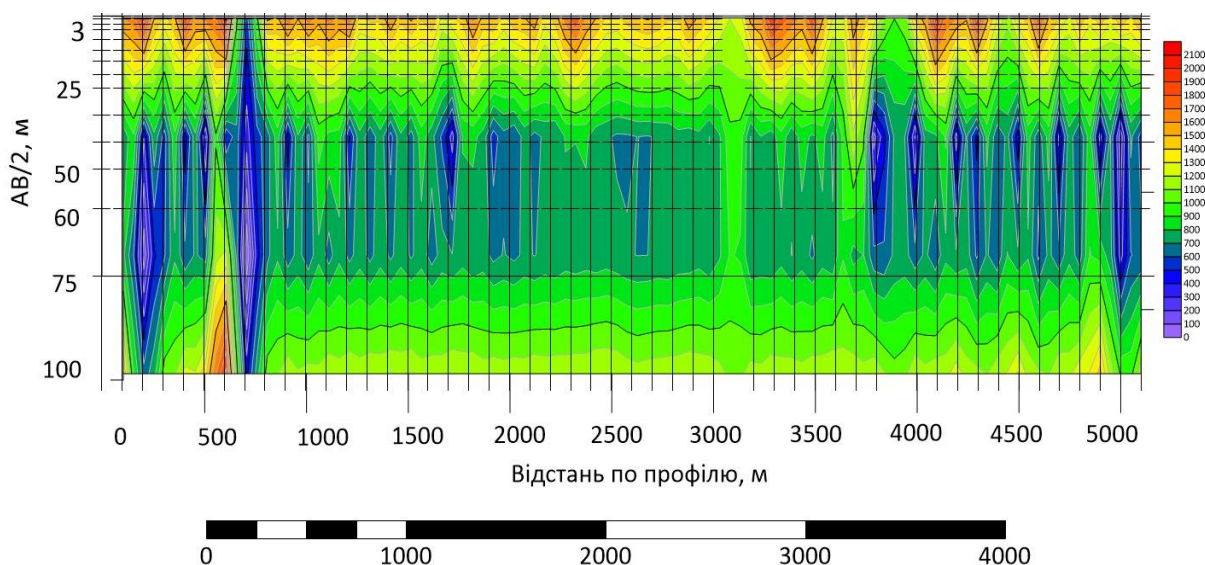


Рис.6.3. Розріз повних горизонтальних похідних на профілі Київської ГЕС

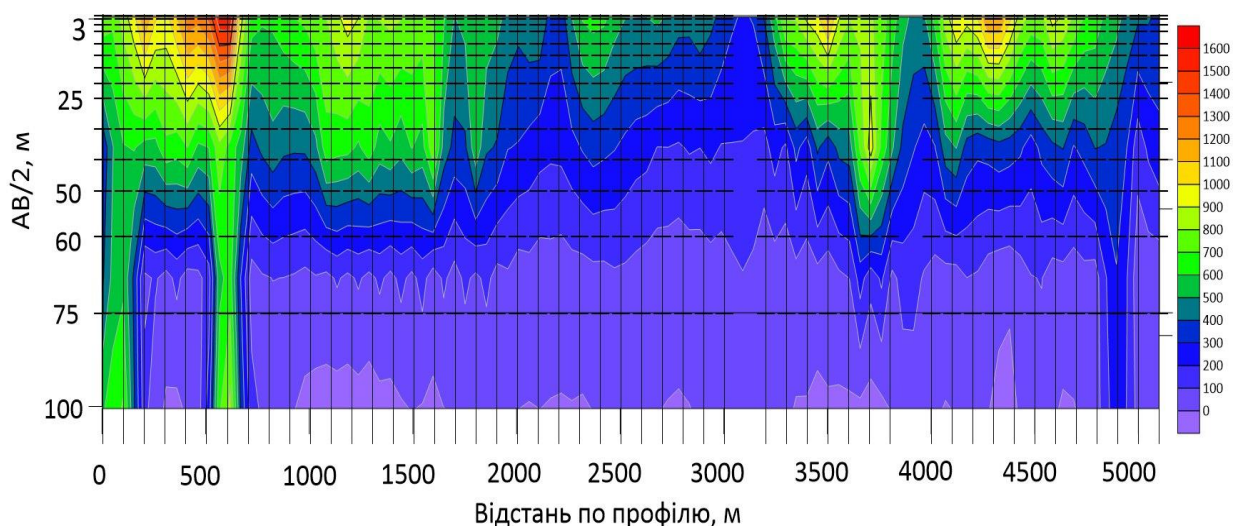


Рис.6.4. Вихідний розріз похідних опорів Київської ГЕС

5.1.2. Природне поле.

Обробка отриманих даних при вимірах природного поля.

Були виконані профільно-площинні вимірювання природного поля в точках, які були попередньо ув'язані методом варіації електричного залежного (ВЕЗ). Початкові точки спостережень були зв'язані за допомогою прямого та зворотного ходів. Інтервал вимірювання на лівобережній частині становив 50 м, а відстань між профілями також була 50 м. Деякі відстані між профілями збільшувались там, де це

було необхідно з технічних чи природних причин. Після збору даних про природне поле була побудована карта потенціалів ΔU за допомогою програми Surfer.

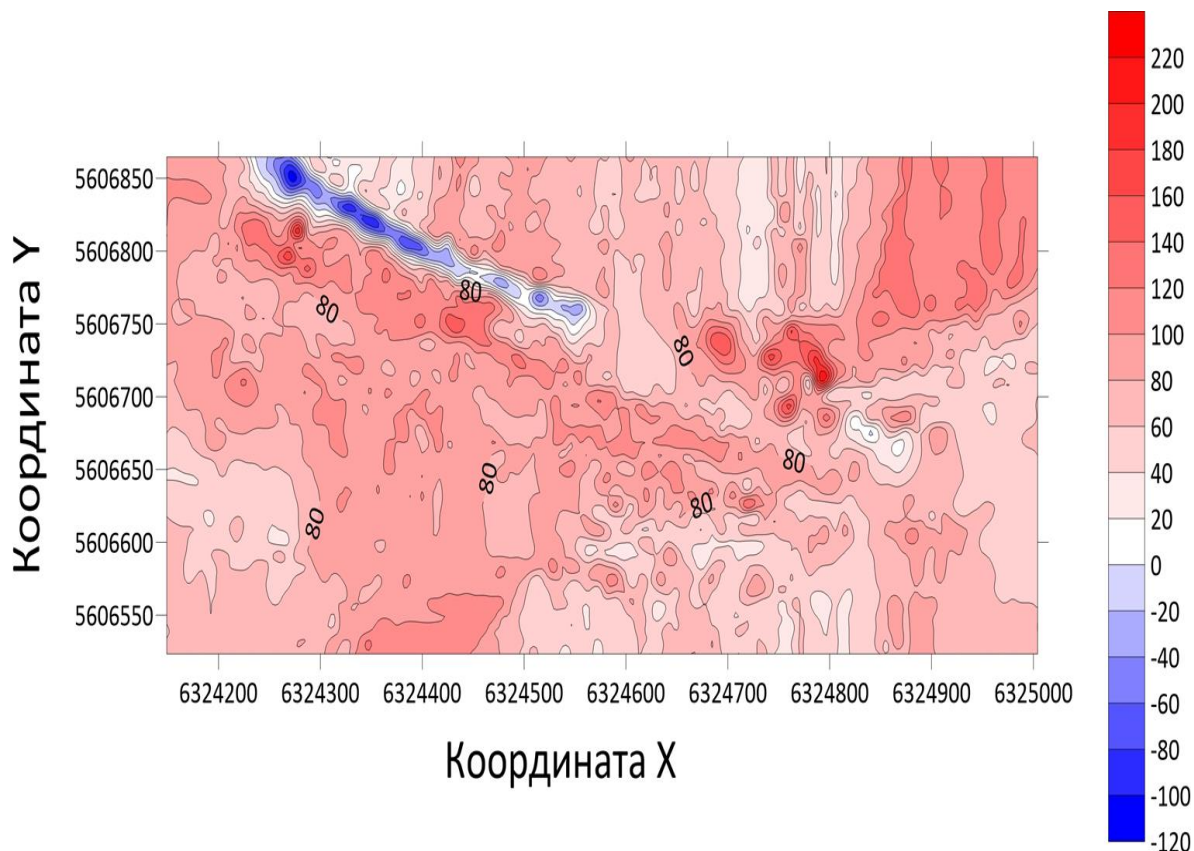


Рис.5.2. Карта природного електричного поля

На основі профільно-площинних досліджень за допомогою методу природного поля на лівобережній ділянці дамби була складена карта розподілу поля.

За результатами аналізу поля можна зазначити, що його характер демонструє різні особливості: в деяких ділянках він виявляється стабільним, тоді як в більшості місць проявляє неоднорідність, знакозмінність та градієнтність. Часто спостерігаються високі градієнти та інтенсивні зміни. Інтенсивність аномалій коливається від мінімальних значень у межах -169 мВ до максимальних +214 мВ. Загальний перепад потенціалу становить 234 мВ, що свідчить про наявність істотних процесів притоку та розвантаження води у даній зоні.

Поле варіюється від стабільного до різко градієнтного, зі змінним знаком, з великою кількістю спряжених аномалій різного знаку. Виявляються протяжні та

інтенсивні аномалії як позитивного, так і негативного знаку, з яскраво вираженою зміною напрямку розповсюдження аномалій та розривами у кореляції.

5.2. Кременчуцька ГЕС

5.2.1. Вертикальні електричні зондування та електротомографія.

Вертикальне електричне зондування методом викликаної поляризації (ВЕЗ-ВП) проведене на русловій та заплавній частинах лівобережної греблі Кременчуцької ГЕС по семи основних профілях (№№ 3, 6, 7, 8, 9, 12) з поверхні землі з кроком спостережень 10 м в об'ємі, довжина установки складала до 100м.

Роботи даним методом були спрямовані на виділення зон провідності, вивчення гіпсометрії покривель опорного горизонту низького опору (київський мергель), корінних пилуватих, мілких пісків, визначення та картування рівня ґрунтових вод на ділянці досліджень, а також картування зон можливих змін в насипному горизонті внаслідок фільтрації підземних вод та його багаторічного промивання.

Якісна інтерпретація кривих електричного зондування була зосереджена на визначенні загальних закономірностей геологічної будови ділянки, аналізу зв'язків між особливостями будови геоелектричного розрізу та параметрами кривих електричних зондувань, а саме, були визначені типи кривих ВЕЗ ділянки та проведений детальний аналіз вертикальних розрізів позірних опорів опрацьованих профілів.

За результатами проведеного аналізу встановлено основні два типи кривих ВЕЗ:

3. Тришарові криві типу Q ($\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$), що становлять більш, ніж 90 % від спостережених;

4. П'ятишарові криві типу КНQ ($\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$), що складають близько 10 %.

Обидва типи кривих електричних зондувань, однозначно показують, що в підвалинах геоелектричного розрізу залягає шар низького опору, який на лівобережній русловій і заплавній частинах Кременчуцької ГЕС представлений

мергелистими глинами з пониженими значеннями позірних опорів. Встановлено, що п'ятишарові криві типу KHQ майже в рівній мірі присутні на профілях 3, 6, 7, 8, на профілі 9 – лише в окремих випадках, а на профілі 12 такий тип кривих ВЕЗ взагалі відсутній. Пояснення цьому було знайдено при подальшому аналізі карт вертикальних позірних опорів та підтверджено за результатами кількісної інтерпретації.

Вертикальний розріз позірних опорів – це карта ізоом позірного опору, яка будується у вертикальній площині, яка співпадає з профілем досліджень та відображається як поле ізоліній рівних значень ρ_{Π} . Отримані вертикальні розрізи якісно відображають особливості реального геоелектричного розрізу ділянки. Для більшої виразності вони представлені з різною кольоровою тональністю відповідно до значень ρ_{Π} . Крім поставлених задач по розчленуванню геоелектричного розрізу та визначення орієнтовного рівня ґрунтових вод, побудова таких розрізів дає можливість встановити зони розповсюдження високоомних і провідних горизонтів, напрямок падіння верств розрізу, за наявності вузьких високоградієнтних, переважно вертикальних областей визначати розломні порушення і т. ін. Саме на цьому етапі інтерпретації було встановлено існування зон підвищеного позірного опору зі значення останнього $\rho_{\Pi} > 1200 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ в межах техногенних ґрунтів насипного шару греблі. Вони більш детально були вивчені та проінтерпретовані за результатами кількісної інтерпретації.

Кількісна інтерпретація польових даних методом ВЕЗ-ВП здійснювалася із застосуванням програми Res2Dinv, яка базується на алгоритмах профільної інтерпретації одновимірних прямих і обернених задач даних електричних зондувань.

На першому етапі кількісної інтерпретації були використані дані якісної інтерпретації з аналізу позірного опору ділянки та типових кривих ВЕЗ з використанням доступних апріорних даних. Приклад інтерпретації параметричних кривих ВЕЗ за допомогою програмних засобів наведений на малюнках.

На другому етапі отримані моделі було перенесено на інші точки ділянки досліджень. Моделі для кожної точки редагувалися з урахуванням особливостей спостережених даних. При цьому застосовувалися як методи автоматичного підбору, так і інтерактивна інтерпретація.

За результатами інтерпретації даних кривих електричних зондувань останні було поділено на відповідні геоелектричні горизонти з визначенням покрівлі та підшови відповідного горизонту (потужності), а також середньозважених значень позірною опору ρ_{Π} в кожному з них. На рисунках(7.1, 7.3, 7.4)наведені результативні геолого-геофізичного розрізи за результатами інтерпретації даних ВЕЗ-ВП та ЕТ наведено на Рис. 5.2.1.

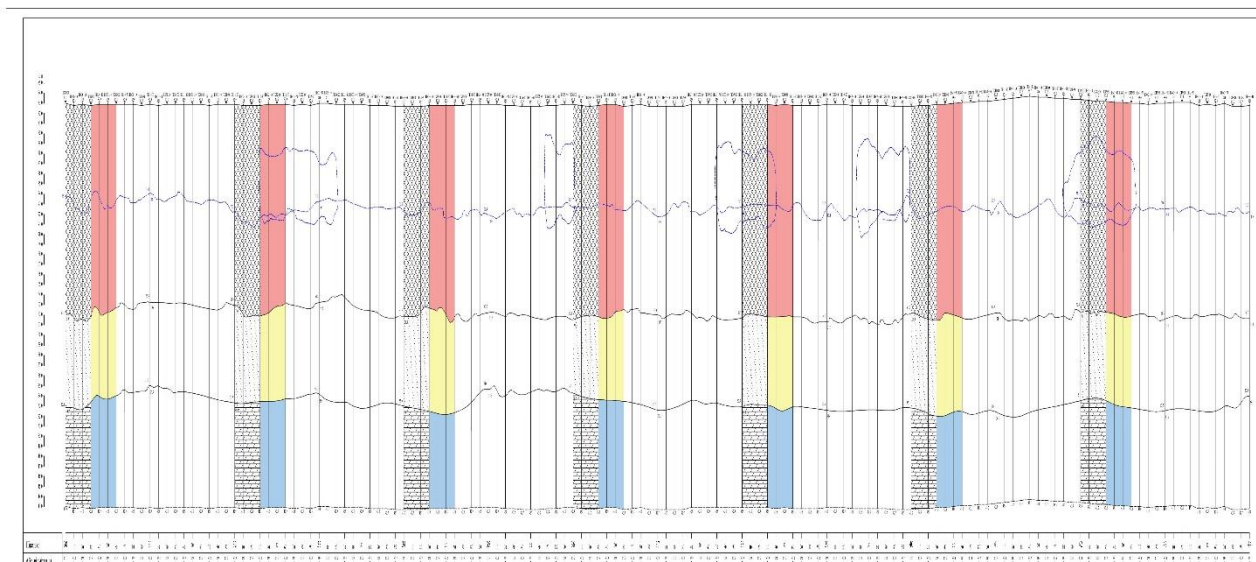


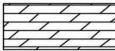



Рис.5.1. Геолого-геофізичний розріз по профілю 6 (ПК30-00 по ПК44-00)

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ЛІТОЛОГІЧНІ:

-  - техногенні ґрунти, піски середньої та мілкої крупності
-  - піски пилюваті, мілкі
-  - мергелиста глина (київський мергель)
-  - зони зміни вмісту фракції ґрунту до середньої крупності та крупного

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ ГЕОЕЛЕКТРИЧНІ:





-  - ґрунти, зі значеннями опору 800-1200 Ом*м
-  - ґрунти, зі значеннями опору 470 - 800 Ом*м
-  - ґрунти, зі значеннями опору <80 Ом*м
-  - ґрунти, зі значеннями опору >1200 Ом*м

Рис. 5.2. Літологічні та геоелектричні умовні позначення до розрізів даних ЕТ по профілях 6, 9, 12 Кременчуцької ГЕС

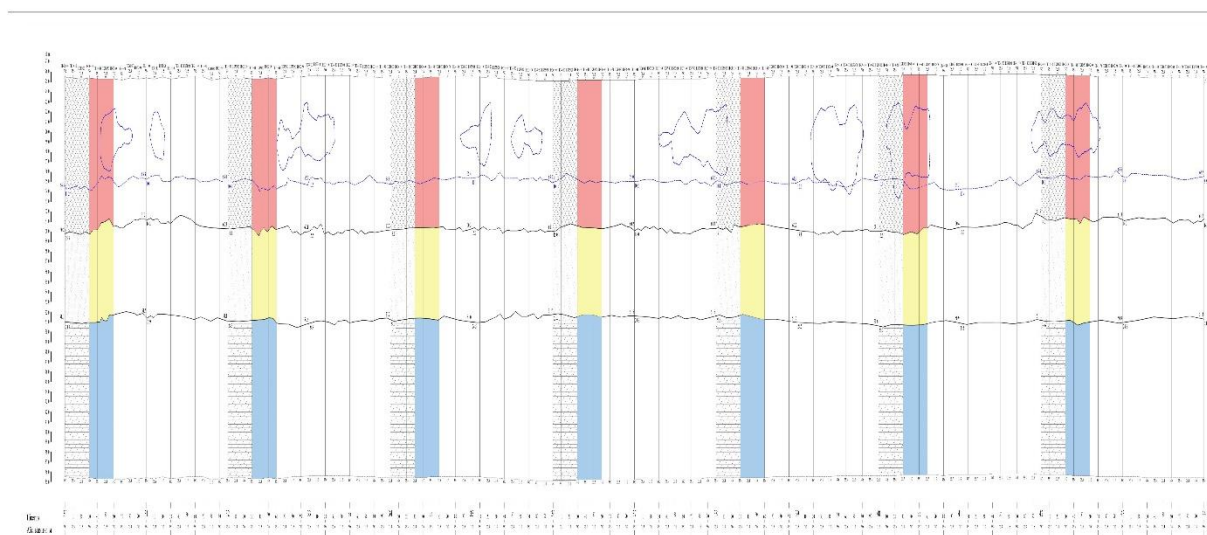


Рис. 5.3. Геолого-геофізичний розріз по профілю 8 (ПК30-00 по ПК44-00).

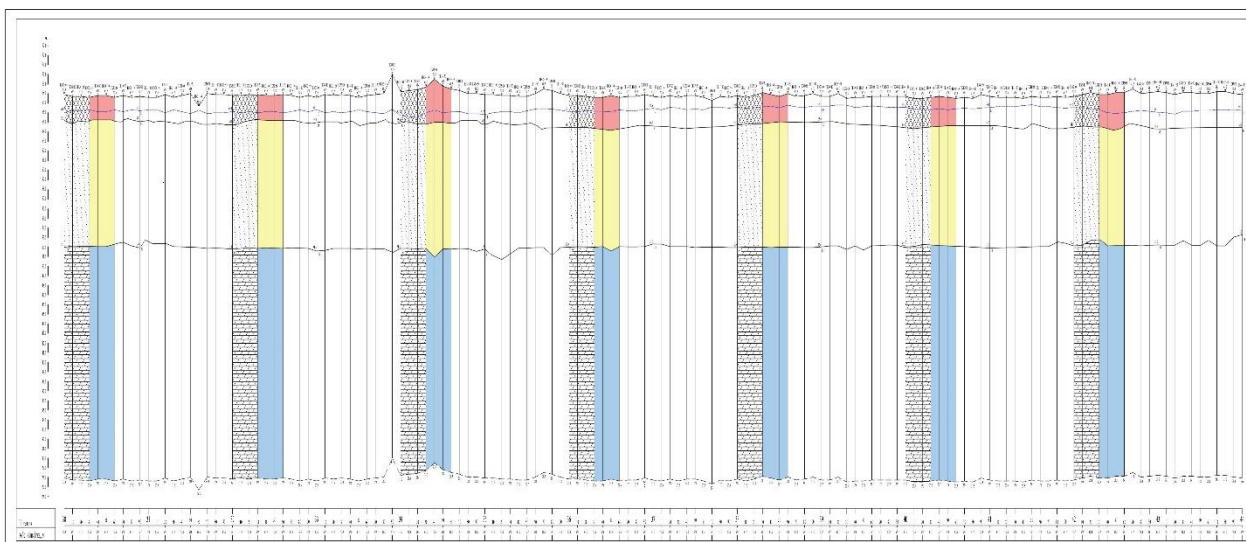


Рис. 5.4. Геолого-геофізичний розріз по профілю 12 (ПК30-00 по ПК44-00).

За результатами інтерпретації даних методу ВЕЗ-ВП побудовані геоелектричні розрізи по профілях [3,6,7,8,9,12].

Встановлено:

1. Всі без винятку геолого-геофізичні розрізи руслової та заплавної частин греблі Кременчуцької ГЕС представлені трьома основними верствами порід за значеннями позірного опору, а саме:
 - техногенними ґрунтами, пісками середньої та мілкої крупності, які характеризуються значеннями ρ_{Π} від 800 до 1200 Ом м, потужність яких в напрямку нижнього б'єфу зменшується від максимальних 21 – 22 метрів на профілі 3 та 17 – 18 метрів на профілі 7 до 3 – 4 метрів на профілі 12;
 - в межах техногенних ґрунтів зони вмісту фракції ґрунту до середньої крупності та крупні з підвищеними значеннями позірного опору ρ_{Π} , який складає більше 1200 Ом м. Окрема характеристика даних об'єктів наводиться нижче;
 - пісками корінними пилуватими мілкими зі значеннями позірного опору 470-600 Ом м без суттєвих коливань потужностей в поперечному напрямку;

- низькоомними мергелистими глинами (київський мергель) зі значеннями позірного опору меншими за 80 Ом м. Цей шар складає низькоомну провідну основу греблі Кременчуцької ГЕС.

2. Рівень ґрунтових вод (РГВ) в межах ділянки дослідження змінюється:

- на профілі 3 від максимальних значень 12,6 м на ПК 40+40 до мінімальних 6,8 м на ПК 61+30;

- на профілі 6 від максимального значення 11 м на ПК 35+00 до мінімального в 7 м на ПК 61+00;

- на профілі 7 від максимальних 14,3 м на пікетах 48+00 та 60+00 до мінімальних 10,9 м на ПК 31+00. На відміну від профілів 3 і 6 поведінка РГВ майже стала без значних стрибків, та його рівень в середньому складає 13 м;

- на профілі 8 РГВ досягає свого максимального значення в 11,8 м на ПК 57+00, а мінімальне його значення 8,5 м приурочено до ПК 61+00, його середнє значення знаходиться в межах 10-11 м;

- більш контрастно РГВ змінюється на профілі 9, де його максимальне значення складає 9,2 м на ПК 34+10, а мінімальне – 4,6 м спостерігається на ПК 58+00. Поведінка нестабільна на всій ділянці;

- на профілі 12 РГВ найближчий до поверхні на всій ділянці досліджень, його максимальне значення складає 3,3 м на ПК 53+00, а мінімальне в 1 м приурочено до ПК 39+00;

- профілі 8, 9, 12 в просторовому плані співпадають з зонами інтенсивного розвантаження води в напрямку нижнього б'єфу та аномаліями природнього електричного поля інтенсивністю від +20 до +120 мВ. Субмеридіональна орієнтація аномалій природнього поля свідчить про накопичення надлишків водних ресурсів на цій ділянці греблі та відповідний їх вплив на рівень ґрунтових вод. Північну частину ділянки, починаючи з ПК 53+00 та до ПК 64+00, можна охарактеризувати як зону інтенсивного підтоплення.

- В межах техногенних ґрунтів, які складають верхню частину розрізу, встановлені зони (осередки) з аномальними значеннями позірного електричного опору, які перевищують значення в 1200 Ом м. Їх існування, на думку авторів, пов'язано з більш інтенсивними процесами інфільтрації та промивання насипного горизонту греблі, які супроводжувалися виносом м'якої фракції ґрунту та формуванням зон середньої крупності та крупних. До таких зон слід віднести: а профілі 3 в межах ПК 55+20 та ПК 55+30 - неоднорідність потужністю до 3 м, яка просторово узгоджується з від'ємною аномалією природнього поля інтенсивністю - 10 мВ, процеси фільтрації незначні;

- на профілі 6 в межах пікетів ПК 32+30 – ПК 33+20 потужністю до 6 м, яка як і всі інші зони на цьому профілі приурочена до зони помірного розвантаження та в природньому полі характеризується потенціалом $\Delta U = +15$ мВ; ПК 35+70 - ПК 36+00 потужністю до 7 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U = +10$ мВ); ПК 37+70 - ПК 38+40 потужністю до 6 м, зона незначного розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 39+35 - ПК 40+00 нерівномірною потужністю до 7 м, зона незначного розвантаження (ΔU від + 5 до + 15 мВ); ПК 41+80 - ПК 42+65 потужністю до 6 м, зона незначного розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 45+70 - ПК 45+90 потужністю до 7 м, зона незначного розвантаження ($\Delta U = +15$ мВ); ПК 46+05 – ПК 46+95 вертикальною потужністю до 6 м, стабільна зона незначного розвантаження ($\Delta U = +25$ мВ); ПК 47+90 - ПК 49+15 змінної потужністю від 5 до 7 м, зона незначного розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 50+40 - ПК 51+65 змінною потужністю від 4 до 6 м, зона незначного розвантаження ($\Delta U = +25$ мВ); ПК 52+90 - ПК 53+90 потужністю від 2 до 6 м, перехідна зона від слабкого до зони помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 20 до + 40 мВ); ПК 54+45 - ПК 55+25 потужністю до 6 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 35 до + 40 мВ); ПК 58+05 - ПК 58+40 потужністю до 6 м, зона розвантаження від слабкого до помірного ($\Delta U =$ від + 10 до + 45 мВ); ПК 59+95 - ПК 60+40 потужністю до 6 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 50 до + 55 мВ); ПК 60+75 – ПК 61+05 потужністю до

6 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U = +55$ мВ); ПК 61+30 – ПК 61+95 потужністю до 5 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U = +55$ мВ); ПК 62+95 – ПК 64+00 від 2 до 6 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 55 до + 70 мВ);

- на профілі 7 в межах пікетів ПК 30+05 – ПК 31+00 майже прямокутної форми потужністю 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 32+65 – ПК 33+75 потужністю до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 35+30 – ПК 36+10 змінною потужності від 4 до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ до + 25 мВ); ПК 37+45 – ПК 38+40 потужністю до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +15$ мВ), в плані майже співпадає з відповідною зоною профілю 6; ПК 39+15 – 39+60 потужність до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 39+85 – ПК 40+50 до 7 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 41+45 – ПК 42+20 потужністю від 6 до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 44+50 – 45+10 потужністю до 7 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +25$ мВ); ПК 46+50 – ПК 47+20 змінної потужності від 2 до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від 25 до + 35 мВ); ПК 47+95 – ПК 48+35 потужність до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 48+45 – ПК 49+35 змінної потужності від 6 до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 20 до + 30 мВ); ПК 50+40 – ПК 50+85 потужністю до 8 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +30$ мВ); ПК 51+35 – ПК 52+60 змінної потужності від 3 до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 35 мВ); ПК 52+95 – ПК 53+25 потужністю до 4 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 35 мВ); ПК 54+70 – ПК 55+25 потужністю від 3 до 5 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 45 до + 55 мВ); ПК 55+65 – ПК 55+90 потужністю до 7 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 45 до + 50 мВ); ПК 58+20 – ПК 58+40 потужність 6 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 55 до + 60 мВ); ПК 59+95 – ПК 60+45 потужністю до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 60 до + 65 мВ); ПК 61+90 – ПК 62+20 потужністю до 5 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 60 до + 65 мВ); ПК 62+45 – ПК 62+65 – до

5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = +65$ мВ); ПК 62+95 – ПК 63+20 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 55 до + 60 мВ);

- на профілі 8 в межах ПК 30+45 – ПК 30+85 потужністю від 2 до 6 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 мВ); ПК 31+05 – ПК 31+25 потужністю до 4 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ); ПК 32+60 – ПК 33+30 потужністю від 1,5 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = +20$ мВ), в плані співпадає з аналогічною зоною на профілі 7; ПК 34+85 – ПК 35+25 потужністю від 1 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 30 мВ); ПК 35+50 – ПК 35+85 потужністю від 1 до 4 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = 25$ мВ); ПК 37+30 – ПК 38+10 потужністю від 1 до 7 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 30 мВ); ПК 39+15 – ПК 39+80 потужністю до 7 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 15 до + 30 мВ); ПК 40+10 – ПК 40+60 потужністю до 8 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 20 до + 25 мВ); ПК 41+90 – ПК 42+75 потужністю від 2,5 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 15 до + 25 мВ); ПК 44+10 – ПК 44+50 потужністю від 3 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 30 мВ); ПК 46+05 – ПК 47+00 потужністю 2,5 до 4 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = +30$ мВ); ПК 47+90 – ПК 49+60 потужністю від 3 до 6 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 20 до + 30 мВ); ПК 50+65 – ПК 51+10 потужністю від 1,5 до 3 м, зона помірного розвантаження (ΔU більше за + 40 мВ); ПК 53+30 – ПК 53+95 потужністю до 4 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 50 до + 55 мВ); ПК 55+55 – ПК 55+85 потужністю до 4 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U = +50$ мВ); ПК 58+00 – ПК 58+40 потужністю від 3 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 60 до + 65 мВ); ПК 59+90 – ПК 60+35 потужністю від 3 до 5 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 70 до + 75 мВ); ПК 62+60 – ПК 62+80 потужністю до 3 м, зона інтенсивного розвантаження ($\Delta U =$ більше за + 80 мВ).

- на профілі 9 ПК 30+30 – 30+60 потужністю до 7 м, зона слабого розвантаження ($\Delta U =$ від + 25 до + 30 мВ); ПК 32+85 – ПК 33+40 потужністю від

3 до 4 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +25$ мВ); ПК 35+30 – ПК 35+80 потужністю від 4 до 7 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 30 до + 35 мВ); ПК 37+85 – ПК 38+20 потужністю від 3 до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U = +30$ мВ); ПК 39+70 – ПК 39+95 потужністю до 6 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 15 до + 25 мВ); ПК 43+95 – ПК 44+45 потужністю від 2 до 4 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 30 до + 35 мВ); ПК 50+75 – ПК 50+95 потужністю до 4 м, зона слабкого розвантаження ($\Delta U =$ від + 30 до + 35 мВ); ПК 53+40 – ПК 53+75 потужністю від 3 до 4 м, зона помірного розвантаження ($\Delta U =$ від + 60 до + 65 мВ).

З аналізу представлених аномальних зон видно, що вони приурочені до присхилової та схилової частин, а лєвова їх частка (майже 90 %) зосереджена по вузькій смузї шириною 20 м, яка охоплює профілі 6, 7 і 8. Швидше за все, завдяки гравітаційним процесам, що діють на ділянці схилу, швидкість ґрунтових вод збільшується в порівнянні з рівнинною ділянкою греблі, та відбувається вимивання мїлкої фракції ґрунту і на цих ділянках формування зон ґрунтів середньої крупності та крупних. Відповідно, збільшенні розміру частинок призводить до підвищення фільтраційних властивостей порід. Також цьому сприяють процеси просочування води за рахунок атмосферних опадів.

За результатами робіт методом ВЕЗ-ВП на русловій та заплавній частинах греблі Кременчуцької ГЕС можливих осередків руйнівних процесів не виявлено.

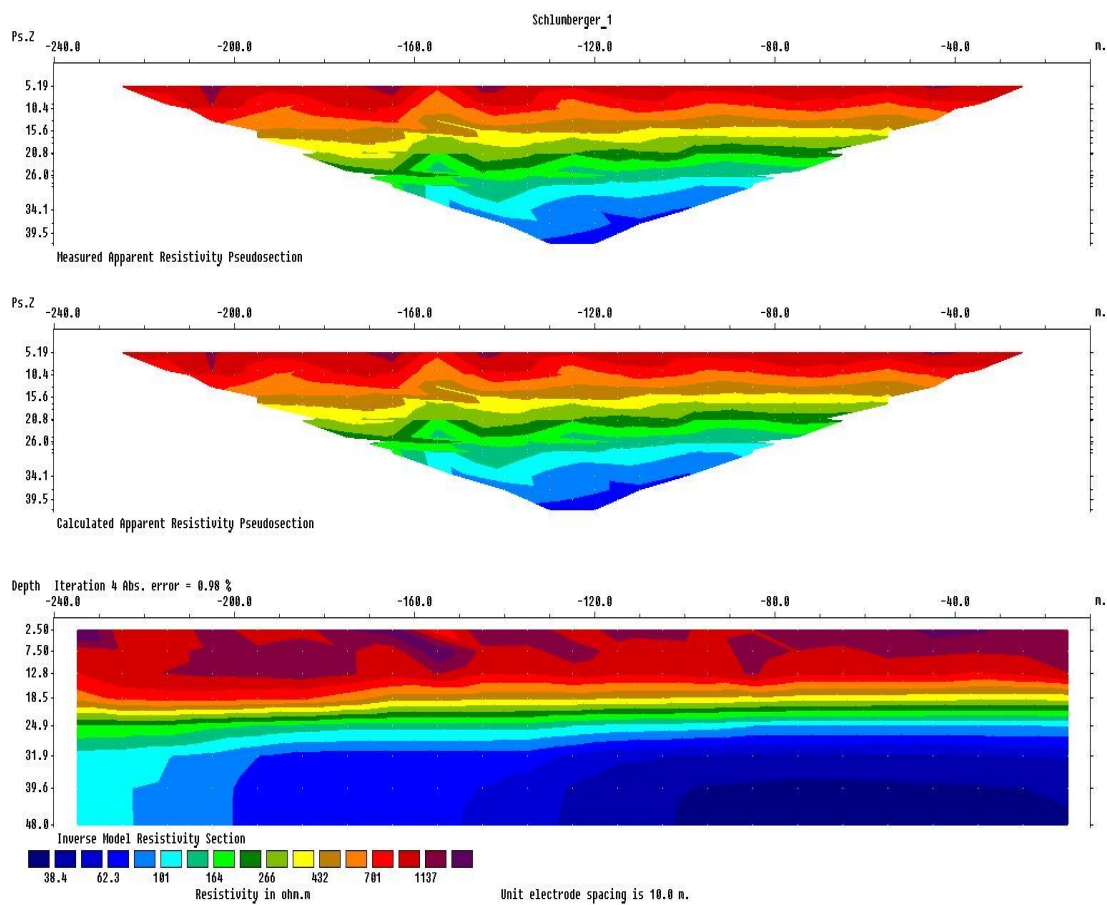


Рис. 5.5. Результат геоелектричного розрізу 6 профілю на Кременчуцькій ГЕС

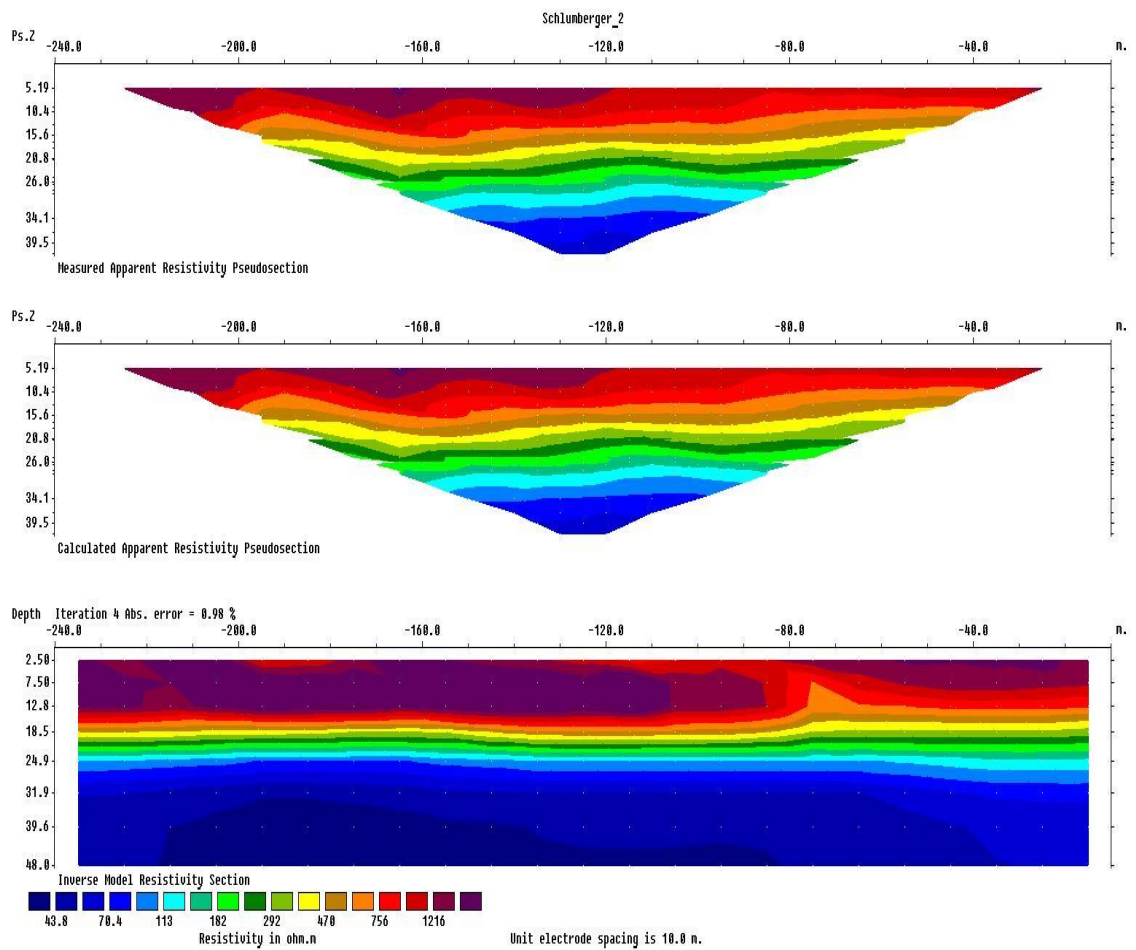


Рис. 5.6. Результат геоелектричного розрізу 6 профілю на Кременчуцькій ГЕС

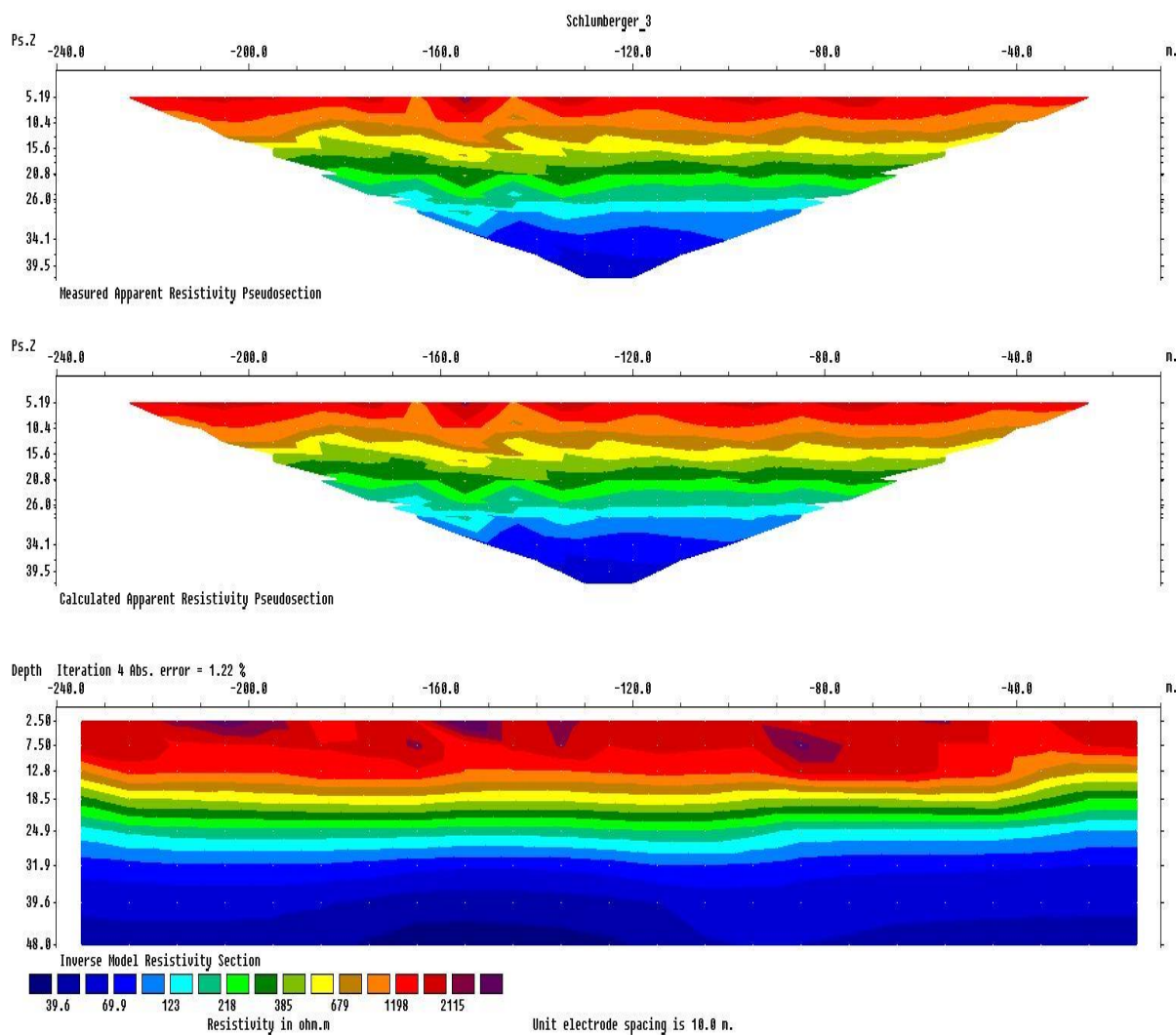


Рис.5.7. Вертикальний розріз позірних опорів профілю 6 на Кременчуцькій ГЕС

5.2.2. Природне поле.

За результатами польових досліджень методом природного поля на ділянці греблі Кременчуцької ГЕС була побудована карта потенціалів ΔU . Аналізуючи її, можна стверджувати, що характер поля неоднорідний, знакозмінний, місцями різко градієнтний, лише на деяких ділянках спокійний. Найбільші горизонтальні градієнти природного поля мають яскраво виражений субширотний напрямок, від осі греблі до нижнього б'єфу. Свого мінімального значення ці градієнти набувають у вузькій зоні, яка охоплює смугу 14, 15 та 5 профілів, де його значення не

перевищує величину 0,5 мВ/м. Найбільшого свого значення горизонтальні градієнти природного поля набувають в приосьовій частині греблі (профілі 1, 2, 3) та на схилі греблі в напрямку нижнього б'єфу (починаючи з профілю 6 та до низу ділянки), де вони іноді складають величину 1,2 мВ/м.

Інтенсивність аномалій змінюється від -75 мВ до +122 мВ. Перепад амплітуди значень потенціалів ΔU складає майже 200 мВ, що є досить істотною величиною для досліджень даним методом на ділянках незначних розмірів.

Аналізуючи поведінку поля потенціалів ΔU , морфологію аномалій, їхній знак, місцезрештування та характер та інтенсивність зміни горизонтальних градієнтів природного поля, ділянку робіт можна умовно розділити на три частини:

- приосьову або ділянку з підвищеними та помірними фільтраційними властивостями, яка розташована в межах профілів 1-4;
- перехідну ділянку, з помірною фільтрацією та низькими горизонтальними градієнтами природного поля (між профілем 4 та профілем 6);
- зону розвантаження водних ресурсів, що характеризується інтенсивними додатними аномаліями природного поля, підвищеними зонами горизонтальних градієнтів, розтіканням аномалій поля в субмеридіональному напрямку (схилова ділянка ГЕС від шостого до 13-го профілів).

Загалом на ділянці руслової та заплавної частин греблі Кременчуцької ГЕС за результатами досліджень методом природного електричного поля виявлено близько 30 аномалій, які характеризуються своїм знаком, інтенсивністю, площею розповсюдження, простяганням. Розглянемо найбільш значимі з них.

Аномалії приосьової ділянки:

1. Від'ємна аномалія природного поля з інтенсивністю -52 мВ (ПР1, ПК30+40), незначної площі, овалоподібної форми субширотного простягання, чітко виділяється в межах профілів 1-3. Може бути віднесена до зони підвищеної фільтрації підземних вод;

2. Межуюча з нею від'ємна аномалія з інтенсивністю -37 мВ (ПР1, ПК31+90), овалоподібної форми, трохи витягнута в північно-східному напрямку, в межах профілів 1 – 3. Зона помірної фільтрації;

3. Від'ємна аномалія поля з інтенсивністю -15 мВ, що приурочена до ПР2 (ПК 33+20), краплеподібної форми, субширотного простягання. Зона слабкої фільтрації;

4. Зона від'ємних та нульових аномалій поля (мінімум -31 мВ), що розташована в межах профілів 1 – 4 (ПК 35+00 – 37+80) майже овальної та ізометричної форми, субширотного простягання. Зона помірної та слабкої фільтрації;

5. Від'ємна аномалія природного поля з інтенсивністю -36 мВ, яка чітко виділяється в межах профілів 1 – 4 (ПК 38+50 – 40+50, сплющеної форми, субширотного простягання, яку можна віднести до зони помірної фільтрації;

6. Доволі інтенсивна від'ємна аномалія (-53 мВ) витягнутої форми, субширотного простягання, розташована в межах профілів 1 – 4 (ПК 40+70 – 41+70), яку можна віднести до зон підвищеної фільтрації;

7. Розташована в межах профілів 1 – 3 (ПК 42+50 – 43+30) аномалія природного поля незначної інтенсивності (-15 мВ) південно-східного простягання. Зона слабкої (слабкої) фільтрації;

8. Від'ємна аномалія потенціалу ΔU з інтенсивністю -32 мВ, яка розташована в межах профілів 1 – 4 (ПК 43+90 – 44+80), північно-східного простягання. Фільтрація помірна;

9. Приурочена до профілю 4 (ПК 45+30 – 45+70) від'ємна аномалія природного поля інтенсивності -15 мВ майже ізометричної форми;

10. Значна за площею складної спряженої форми від'ємна аномалія природного поля з інтенсивністю -57 мВ, яка впевнено простежується в межах профілів 1 – 4 (ПК 46+00 – 48+70), змінного простягання від субширотного до північно-східного. Можна охарактеризувати як зону помірної та підвищеної фільтрації;

11. Овалоподібна субширотного простягання від'ємна аномалія потенціалу ΔU з інтенсивністю -33 мВ, що простежується в межах профілів 1 – 3 (ПК 49+00 – 51+40); зона помірної фільтрації;

12. Інтенсивна (-77 мВ), високоградієнтна, значна по площі аномалія природного поля субширотного напрямку, що впевнено фіксується в межах профілів 1 – 8 (ПК 57+00 – 58+00), загалом порушуючи майже сталий характер зміни поля в напрямку нижнього б'єфу. Автори звіту вважають її як аномалію частково техногенного походження. За інших умов це зона підвищеної фільтрації підземних вод;

13. Від'ємна аномалія природного поля інтенсивності до -28 мВ, максимум якої приурочений до ПК 61+50 (-15 мВ), впевнено виділяється в межах ПК 61+00 – 63+10, субмеридіонального простягання, яку також можна віднести і до перехідної ділянки. Зона помірної та слабкої фільтрації.

До перехідної ділянки з помірною фільтрацією крім зазначеної останньої аномалії, впевнено можна за ситуативним розміщенням віднести додатну аномалію природного поля, яка фіксується в межах профілів 4, 14, 14 (ПК 43+20 – 43+90). Її інтенсивність складає +25 мВ, аномалія носоподібна, північно-західного простягання та представляє собою зону укорінення між від'ємними аномаліями поля.

Аномалії зони розвантаження:

1. Додатна аномалія природного поля інтенсивності +32 мВ в межах профілів 10, 12, 13 (ПК 30+40 – 31+70) неправильно витягнутої форми субмеридіонального простягання;

2. Еліпсоподібної форми субширотного простягання додатна аномалія інтенсивністю +31 мВ, яка чітко простежується в межах профілів 12 та 13 на ПК 33+30 – 33+80;

3. Витягнута в субмеридіональному напрямку сплющена подвійна додатна аномалія природного поля інтенсивністю +37 мВ в межах профілів 9, 10, 12, 13 (ПК 34+50 – 36+80);

4. В межах тих самих профілів на ПК 37+50 – 39+80 додатна аномалія (+42 мВ) потенціалу ΔU субмеридіонального напрямку;

5. Незначна за площею, овальна за формою субширотного простягання додатна аномалія поля (+33 мВ) в межах профілів 9, 10, 11, 12 (ПК 40+30 – 40+90);

6. Додатна аномалія природного поля інтенсивністю +36 мВ, овалоподібної форми, субширотного простягання в межах профілів 9, 10, 11, 12 (ПК 41+40 – 42+00);

7. В межах профілів 9 і 10 (ПК 42+30 – 42+70) додатна аномалія природного поля (+16 мВ) ізометричної форми;

8. Смугова подвійна аномалія природного поля субмеридіонального напрямку інтенсивності до +44 мВ, яка чітко відстежується в межах профілів 7 – 13 на ПК 43+10 – 45+70;

9. Овалоподібна аномалія субмеридіонального простягання інтенсивністю +48 мВ в межах профілів 9, 10, 12, 13 на ПК 48+50 – 50+50;

10. Інтенсивна, значна по площі додатна аномалія природного поля (+87 мВ) в межах профілів 9, 10, 12, 13 (ПК 53+50 – 57+00). Це спряжена високоградієнтна аномалія природного поля майже лінійної форми;

11. Фактично продовження попередньої аномалії суцільна зона витягнутих високоградієнтних аномалій природного поля субмеридіонального простягання. Її інтенсивність перевищує +120 мВ. Приурочена до широкої смуги ПК 57+80 – 64+00 та однозначно простежується на профілях 8, 9, 10, 12, 13. Разом з попередньою аномалією природного поля складає майже суцільну потужну додатну аномалію природного поля, яка, швидше за все, пов'язана з процесами підтоплення в нижньому б'єфі заплавної частини греблі Кременчуцької ГЕС.

За результатами аналізу карти природного поля було проведено виділення найбільш вірогідних напрямків розповсюдження підземних вод, при цьому

найбільша увага була приділена виявленню та простежуванню поведінки осей аномалій, їхньому взаємному положенні, аналізу екстремумів аномалій природного поля та гравітаційної складової, яка впливає на перетікання підземних вод у напрямку від верхнього б'єфу до нижнього. Результати проведеної інтерпретації представлені на карті потенціалів ΔU природного поля в вигляді точкових векторів .

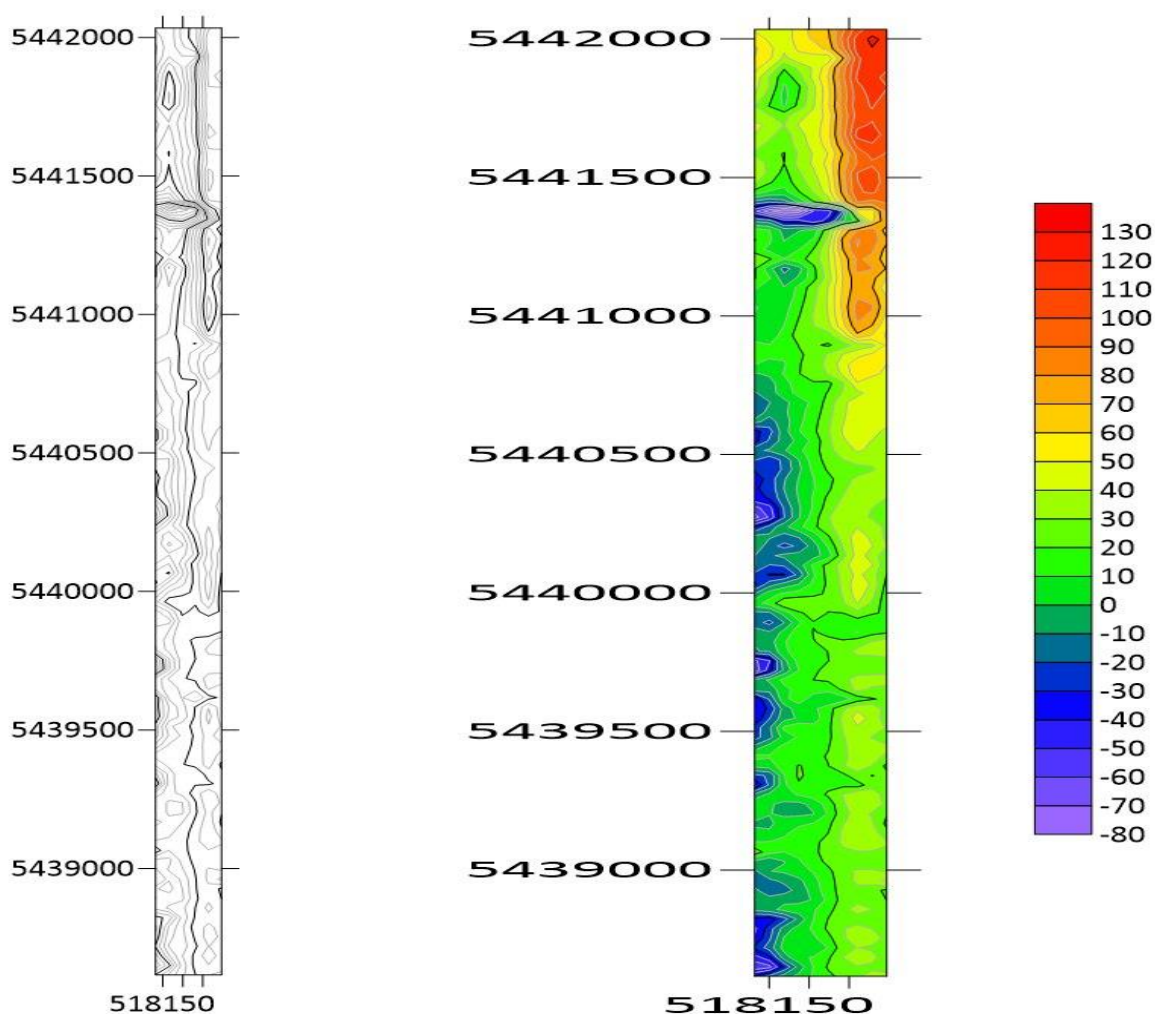


Рис.5.8. Карта природного електричного поля Кременчуцької ГЕС

ВИСНОВОК

З моїх досліджень сучасного стану напірних ділянок Київської та Кременчуцької ГЕС впливає, що використання сучасних гідроелектростанцій є важливим кроком на шляху до енергетичної незалежності України. Результати польових електрометричних досліджень та інженерно-геофізичних вишукувань показали, що обидві греблі потребують уваги щодо їхнього технічного стану та надійності експлуатації.

За результатами підготовки магістерської роботи були проаналізовані результати попередніх інженерно-геофізичних досліджень на напірних частинах гребель Дніпровського каскаду ГЕС.

Детально вивчено особливості інженерно-геологічної будови напірних ділянок Київської та Кременчуцької ГЕС, а, особливо, їхніх руслових та заплавних частин. Встановлено, що ґрунтові шари неоднорідні за складом та потужністю, крім підвальних частин, які представлені мергелями.

Виконано обробку даних польових електрометричних досліджень та проаналізовано їхні результати. Виявлені послаблені зони в напірних частинах гребель та ділянки фільтрації підземних вод через руслову та заплавну частини гребель Київської та Кременчуцької ГЕС.

Аналіз результатів електротомографії на Кременчуцькій ГЕС дав багато додаткової інформації про особливості інженерно-геологічної будови поруч з даними інших методів, зокрема, відіграв вирішальну роль при визначенні рівня ґрунтових вод та виявлення додаткових осередків неоднорідностей в тілі лівобережної греблі. Його необхідно обов'язково залучати до вирішення подібних задач.

Вивчено сучасний технологічний стан напірних ділянок обох ГЕС, визначено фільтраційні режими. За представлених комплексом електрометричних методів локалізовано ділянки підвищеної фільтрації. Ці дані є важливими для подальшого

планування робіт з технічного обслуговування та модернізації гребель. Це дозволить планувати конкретні заходи для підвищення надійності споруд та запобігання можливих аварійних ситуацій.

Отримані результати обробки електрометричних даних та побудова відповідних карт дають змогу порівняти технічний стан різних гребель та визначити пріоритетні напрямки подальших досліджень і дій.

Представлені результати та висновки підтверджують актуальність проведення подібних досліджень та необхідність постійного моніторингу технічного стану гідротехнічних споруд для забезпечення їх ефективної та безпечної роботи у майбутньому.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електрометрія. Посібник із навчальної геофізичної практики : навч.-метод. видання / С. А. Вижва, М. В. Рева, І. І. Онищук, В. І. Онищук. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2013. – 303 с
2. Основи геофізики / [М. І. Толстой, А. П. Гожик, М. В. Рева та ін.] – К.: ВПЦ "Київський університет", 2006. – 446 с.
3. Основы геофизических методов разведки / [М. И. Толстой, Ю. В. Тимошин, А. В. Сухорада и др.] – К.: Вища школа, 1985. –327 с.
4. Хмелевской В. К. Электроразведка / В. К. Хмелевской. –М.: Изд-во МГУ, 1984. – 420 с.
5. Электроразведка. Справочник геофизика : [в 2 книгах]. – М.: Недра, 1989.
6. <https://doi.org/10.31734/architecture2021.22.154>.
7. Сасаки Ю. Роздільна здатність резистивної томографії,отримана з чисельного моделювання. Геофізична розвідка. 1992рік%; 40:453-464.
8. Dahli T 2D вимірювання питомого опору для екологічних та інженерних застосувань. Перша перерва. 1996 рік; 14:275-283.
9. Loke MH, Barker RD. Швидка інверсія методом найменших квадратів уявних псевдоперерізів питомого опору методом квазіНьютона. Геофізична розвідка. 1996 рік;44:131-152.
10. Zhou B, Dahlin T. Властивості та вплив похибок вимірювань на 2D зйомку зображень питомого опору. Приповерхнева геофізика. 2003:105-117.
11. Мундрі Е. Розрахунки геоелектричної моделі для двовимірного розподілу питомого опору. Геофізична розвідка. 1984 рік;32:124-131.
12. P. Moon,D. E. Spencer Field Theory Handbook: Including Coordinate Systems, Differential Equations and Their Solutions2nd ed. 1988.

13. Loke M.H. Time-lapse resistivity imaging inversion. 5th Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society European Section Proceedings. Em1. – 1999.

14. Вижва С. А., Рева М. В., Онищук І. І., Онищук В. І. Електрометрія. Посібник із навчальної геофізичної практики. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2014. – 303 с.

15. ТОВ « Сучасна Геофізика», Звіт Спеціальні інженерно-геофізичні вишукування з метою оцінки сучасного стану та причин виникнення просадок на низовому укосі гребель на ділянці ПК 30 - ПК 64 лівобережних руслової і заплавної гребель Кременчуцької ГЕС СІГВ-10-23-КР.ГЕС-5.2-Г.ВЕЗ.6.1.

16. ТОВ « Сучасна Геофізика», Звіт Спеціальні інженерно-геофізичні вишукування з метою оцінки сучасного стану та причин виникнення просадок на низовому укосі гребель на ділянці ПК 30 - ПК 64 лівобережних руслової і заплавної гребель Кременчуцької ГЕС: СІГВ-10-23-КР.ГЕС-5.2-Г.ВЕЗ.8.1.

17. ТОВ « Сучасна Геофізика», Звіт Спеціальні інженерно-геофізичні вишукування з метою оцінки сучасного стану та причин виникнення просадок на низовому укосі гребель на ділянці ПК 30 - ПК 64 лівобережних руслової і заплавної гребель Кременчуцької ГЕС. СІГВ-10-23-КР.ГЕС-5.2-Г.ВЕЗ.12.1.