

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

**САВКІВ ЛІДІЯ ГРИГОРІВНА**



УДК 004.6

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДАНИХ  
ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ**

05.13.06 – інформаційні технології

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі геоелектромагнітних методів Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна Національної академії наук України.

**Науковий керівник:**

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
**ЛАДАНІВСЬКИЙ Борис Теодорович**,  
Карпатське відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна  
Національної академії наук України,  
завідувач відділу геоелектромагнітних методів

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**ТЕСЛЮК Василь Миколайович**,  
Національний університет «Львівська політехніка»,  
професор кафедри систем автоматизованого проектування


кандидат технічних наук, доцент  
**ЄГОРЧЕНКОВ Олексій Володимирович**,  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,  
доцент кафедри геоінформатики

Захист відбудеться «06» 12 2019р. о 16<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.14 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 28а, ауд. 807, V навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитися у Науково-технічній бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «31» 10 2019 року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
к.т.н., доцент



А.Є.Батюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** На сьогодні питання екології, охорони природи та захисту довкілля набули особливого значення, їм надається велика увага. Для вирішення екологічних задач, а також інженерно-геологічних досліджень приповерхневої частини геологічного середовища з метою виявлення зсувних процесів, екологічно-небезпечних явищ, ділянок утворення провалів чи порожнин, забруднених чи зсуво-небезпечних зон, загрози руйнування гребель і дамб, використовуються геофізичні спостереження електромагнітними методами. Крім того, згадані методи можуть застосовуватися при виконанні таких фундаментальних наукових робіт як вивчення будови земної кори і мантії, пошук і розвідка корисних копалин, моніторинг, наприклад, природного електричного поля у сейсмоактивних зонах для виявлення провісників землетрусів та ін. При цьому використовуються, зокрема, метод зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні (ЗСБ) як один з найінформативніших для приповерхневих досліджень та метод природного електричного поля (ПЕП), через високу чутливість до фізико-хімічних процесів в землі.

Польові роботи методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні проводяться за стандартними методиками. При такому підході якість та інформативність зібраних даних визначається в процесі камеральної обробки, що здійснюється після завершення усіх польових робіт. Крім того, в разі потреби виконуються повторні та контрольні виміри з додатковим виїздом на об'єкт дослідження, на що заново витрачаються і час, і ресурси. Тому, в ході польових вимірювань важливими завданнями є: по-перше, візуально оцінити ще на поточній точці спостережень якість отриманих первинних експериментальних даних і прийняти рішення про продовження вимірів у наступній точці згідно з планом, чи про проведення контрольних заходів у поточній; по-друге, візуально, наочно проаналізувати структуру геосередовища, отримати його модель і на основі цього скоригувати відстань до наступної точки спостережень або визначити додаткові точки спостережень. Вирішити окреслені завдання та зменшити усі витрати можна на основі розроблення та використання відповідних програмно-технічних засобів.

При моніторингових дослідженнях методом природного електричного поля детальний аналіз часових рядів є складним, трудомістким і потребує чималих затрат часу та великих обсягів обчислень. Тому, швидко виявити для подальшого детальнішого аналізу та вивчення ті ділянки часового ряду, де електричні сигнали з великою імовірністю пов'язані зі сейсмічними подіями, дозволив би експрес-аналіз цих даних в рамках спеціально розробленої інформаційної технології.

Питання експрес-аналізу висвітлювали у своїх роботах К.Г.Кириченко, В.М.Івахненко, В.І.Ковшик; інформаційні технології – В.М.Глушков, В.І.Гриценко, М.О.Медиковський, Л.С.Сікора та ін. Значний внесок у розроблення методів, моделей і засобів обробки геолого-геофізичної та географічної інформації зробили: Жуков М.Н., Якимчук М.А., Зацерковний В.І. Як окремі елементи інформаційних технологій можуть виступати загальні теоретичні підходи, алгоритми і методики опрацювання та аналізу даних методів зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та природного електричного поля, що розглядали та описували

М.В.Рева, В.П.Степанюк, М.Н.Nabighian, J.C.Macnae, G.V.Keller, В.А.Сідоров, В.В.Тікшаєв, Л.Л.Ваньян, Ф.М.Каменецкій, К.Н.Kappler, Н.Ф.Morrison, А.Ramirez-Rojas, G.Colangelo, V.Lapenna, S.Uyeda, Т.Nagao. Запропоновані авторами методики, в яких описані і викладені здебільшого загальні принципи щодо опрацювання, інтерпретації отриманих даних, а також розглянуті шляхи розв'язку конкретних задач, на жаль, не висвітлюють процедури експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень. Для опрацювання даних ЗСБ і побудови моделі геоелектричного розрізу: створено Web-сайти, де виробники геофізичної апаратури разом зі своїми приладами пропонують спеціалізоване програмне забезпечення; існують геофізичні фірми, що виконують подібні роботи та розробляють відповідні комерційні програмні продукти для опрацювання даних; розроблено сайти, здатні в деморежимі працювати з даними окремих форматів чи отриманих з певних геофізичних приладів.

Однак, використання у цій ситуації "чужих" сайтів чи розробок не завжди є можливим і прийнятним, оскільки: дані обробляються на стороні сервера, тому перед тим вони завантажуються на "чужий" сервер, а, зазвичай, первинна інформація є закрита і не призначена для публічного використання; комерційні програмні продукти мають чималу вартість; опрацювання даних через відкриті Web-сайти можливе лише окремих форматів або ж отриманих з конкретних приладів.

З огляду на це, розроблення інформаційної технології з одночасним експрес-аналізом даних геоелектромагнітних спостережень програмними засобами є актуальною науковою задачею.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку відділу геоелектромагнітних методів Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна Національної академії наук України. Дисертаційна робота виконана у рамках наукових досліджень установи, в межах науково-дослідних робіт з відомчої тематики (фундаментальні та прикладні теми), цільової фундаментальної та наукових проектів: бюджетна фундаментальна тема БФ12/3-11 "Структура і динаміка електромагнітних полів у Закарпатській сейсмоактивній зоні" (№ державної реєстрації 0111U000029) (2011р.-2015р.), фундаментальна цільова тема БФЦ/8-12 "Комплексні геофізичні дослідження для виявлення та прогнозування екобезпечних явищ на локальних та регіональних полігонах Заходу України" (№ державної реєстрації 0112U001142) (2012р.-2016р.), за науковим проектом НАН України РУ/11-12 "Дослідження зв'язків динаміки геофізичних полів з глибинною будовою та сеймотектонічними процесами у літосфері Карпатського регіону" (№ державної реєстрації 0112U005066) (2012р.-2016р.), бюджетна прикладна тема БП/6-12 "Розроблення апаратурно-методичних засобів для спостереження статичних електричних полів" (№ державної реєстрації 0112U001145) (2012р.-2014р.), у яких здобувачка була виконавицею окремих етапів, завдань та розділів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розроблення інформаційної технології експрес-аналізу даних для підвищення ефективності геофізичних досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля.

Мета дисертаційної роботи визначила необхідність виконання таких завдань:

- провести аналіз існуючих методів, моделей і засобів опрацювання даних геоелектромагнітних спостережень та побудови автоматизованих систем;
- розробити модель подобового тренду моніторингових даних на основі поліному третього степеня;
- удосконалити метод побудови моделі геоелектричного розрізу в точці спостережень, яка відображає шари у структурі геосередовища;
- удосконалити метод експрес-аналізу моніторингових даних природного електричного поля з використанням апарату описової статистики та моделювання трендів часових рядів;
- розробити інформаційну модель структурування польових та моніторингових даних для подальшого експрес-аналізу та візуалізації шляхом представлення метаданих і даних;
- розробити програмно-алгоритмічні засоби інформаційної технології експрес-аналізу даних геофізичних спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля.

**Об’єкт дослідження** – процеси збору та опрацювання даних геоелектромагнітних спостережень.

**Предмет дослідження** – методи, моделі та засоби інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень.

**Методи дослідження.** Для розв’язання поставлених у дисертаційній роботі завдань використано: при розробленні методів, моделей, засобів та алгоритмів – теорія системного аналізу, теорія математичного моделювання, методи математичної статистики; при розробленні програмних засобів – принципи об’єктно-орієнтованого програмування.

**Наукова новизна отриманих результатів.** На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі результати:

1. Вперше розроблено модель тренду часового ряду моніторингових даних у формі поліному третього степеня, що забезпечує усунення шуму, заповнення пропущених даних та дає змогу подати і дослідити подобову динаміку природного електричного поля в точці спостережень.

2. Вперше розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології експрес-аналізу результатів геоелектромагнітних спостережень на підставі врахування вхідних даних, методів і моделей експрес-аналізу та опрацювання даних, що уможливорює підвищення ефективності геофізичних досліджень.

3. Удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу в точці спостережень за рахунок застосування асимптотичних формул до польових даних, що забезпечує підтримку оперативного прийняття рішень про проведення подальших етапів вимірювань, зменшує час виконання польових робіт та підвищує достовірність досліджень.

4. Удосконалено метод експрес-аналізу моніторингових даних за рахунок інтеграції описової статистики і моделей трендів часових рядів, що дає змогу виявити часові діапазони з нетиповим характером поведінки природного електричного поля та імовірною кореляцією зі сейсмічними подіями.

5. Отримала подальший розвиток інформаційна модель структурування

польових та моніторингових даних у частині поєднання службової інформації з даними вимірювань у розробленому форматі, що забезпечує можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

1. Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, структуру автоматизованої системи, яка реалізує інформаційну технологію і підтримує роботу з моніторинговими даними методу природного електричного поля в режимі реального часу, з польовими даними методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні – в режимах off-line та on-line, що загалом підвищує ефективність геофізичних досліджень на  $\approx 25\%$ .

2. Розроблено алгоритми методів та моделей для інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, які дають можливість подати і дослідити подобову динаміку природного електричного поля, провести експрес-аналіз даних геоелектромагнітних спостережень, отримати модель геоелектричного розрізу за даними методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні. Це дасть змогу зібрати максимально достовірні первинні польові дані та оптимальну їх кількість, суттєво покращити якість подальшої обробки та підвищити надійність і достовірність самої інтерпретації результатів спостережень. Аналіз моделі геоелектричного розрізу дозволить швидко оцінити структуру геологічного середовища в точці спостережень та оперативно прийняти рішення про подальший хід польових спостережень. Наявність такої моделі середовища дає можливість зекономити від 20% робочого часу на польові експериментальні роботи для малих петель  $10 \times 10$ – $30 \times 30$  м і до 50% при використанні петель розміром  $250 \times 250$ – $500 \times 500$  м.

3. Розроблено спеціалізовані програмно-алгоритмічні засоби інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля на базі вільного і відкритого програмного забезпечення, яке поширюється за умовами безкоштовної ліцензії, що дає можливість автоматизувати опрацювання даних.

4. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються при виконанні науково-дослідних робіт, проведенні геофізичних спостережень, зборі та опрацюванні даних у Карпатському відділенні Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України та застосовуються при розробці сучасних геофізичних приладів у Львівському центрі Інституту космічних досліджень. Впровадження матеріалів досліджень підтверджено відповідними актами.

**Особистий внесок здобувачки.** Усі наукові результати теоретичних та практичних досліджень, викладені у дисертаційній роботі, отримані авторкою особисто. Дві наукові праці [3, 6] виконані одноосібно. У працях, опублікованих у співавторстві, здобувачці належить: моделі трендів часових рядів моніторингових даних природного електричного поля на основі поліному третього степеня, структура, алгоритм роботи і технічне забезпечення системи збору даних, інформаційна модель даних, метод експрес-аналізу моніторингових даних режимної геофізичної станції, який ґрунтується на поєднанні апарату описової статистики і

моделей трендів часових рядів [1]; метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні на основі використання асимптотичних формул, програмне забезпечення та результати [2]; інформаційна модель структурування польових даних методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та моніторингових даних методу природного електричного поля [3]; алгоритм і програмне забезпечення модуля візуалізації первинних геофізичних даних, інформаційна модель польових даних та аналіз технічних засобів для геофізичних спостережень [4]; аналіз технічних і розроблення програмних засобів збору, передачі-прийому, доступу та зберігання геофізичних даних, алгоритми роботи, технічне і програмне забезпечення передавальної та серверної частин для польових і моніторингових спостережень [5, 11, 12]; структура, алгоритм функціонування та технічне забезпечення системи дистанційного прийому-передачі даних геофізичних спостережень, структура і програмне забезпечення серверної частини системи [6]; алгоритм та програмне забезпечення для формування файлів вхідних даних [7]; опис модуля передачі даних, режимів його роботи, алгоритм передачі-прийому даних на ftp-сервер [8]; аналіз результатів попереднього опрацювання первинних даних з режимної геофізичної станції, алгоритми статистичної обробки даних та моделювання часових рядів [9]; алгоритм роботи та програмне забезпечення модуля точкової візуалізації первинних геофізичних даних методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні для їх швидкої експрес-оцінки на поточній точці спостережень [10]; опис структури безпілотних комплексів, підсистеми зв'язку та передавання даних [13].

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на: VI Міжнародній науковій конференції до 25-річчя Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України та 85-річчя професора Ярослава Сапужака, першого керівника КВ ІГФ НАН України (м.Львів, 20-23 вересня 2016р.), науковій конференції-семінарі, присвяченій пам'яті Т.З.Вербицького та Ю.Т.Вербицького (с.м.т.Верхнє Синьовидне, 1-2 червня 2017р.), III Міжнародній науковій конференції, присвяченій пам'яті видатних українських вчених у галузі електромагнітних досліджень: доктора фіз.-мат. наук В.М.Шумана, доктора геол. наук С.М.Куліка (м.Київ, 3-5 жовтня 2017р.), XXV науковій сесії Наукового товариства ім.Шевченка (м.Львів, 27.03.2014р.), XXVI науковій сесії Наукового товариства ім.Шевченка (м.Львів, 19.03.2015р.), а також на наукових семінарах Карпатського відділення Інституту геофізики Національної академії наук України, відділу геоелектромагнітних методів КВ ІГФ.

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 13 наукових праць, у тому числі: 6 статей – у наукових виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз (5 з них – фахові), 2 статті – у наукових фахових виданнях України, 4 публікації у матеріалах конференцій (1 з них входить до міжнародної наукометричної бази Scopus) та 1 патент на корисну модель.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 121 найменувань та 9

додатків. Загальний обсяг дисертації – 165 сторінок, з них 136 сторінок основного тексту, що містить 44 рисунки та 11 таблиць.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні задачі досліджень, визначено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок роботи з науковими темами. Подано відомості про апробацію результатів роботи, особистий внесок авторки та її публікації.

**У першому розділі** дисертаційної роботи на підставі проведеного аналізу сучасного стану наукових досліджень щодо існуючих методів, моделей, засобів, викладено постановку завдання дослідження, подано загальну характеристику відомих технологій і варіантів організації систем реєстрації та збору первинних даних, описано специфіку методів та підходів щодо опрацювання та аналізу отриманих даних, а також виокремлено основні питання для подальшого розв'язання. Існує багато установ геологічного, екологічного, сейсмічного спрямування, що займаються постійним геофізичним моніторингом і працюють з геофізичними даними в режимі реального часу: міжнародна мережа геомагнітних обсерваторій INTERMAGNET; Національні Центри Екологічної Інформації (NCEI); американська науково-дослідницька урядова організація, що спеціалізується на науках про Землю - United States Geological Survey (USGS) - Геологічна служба США, Міжнародний консорціум сейсмологічних Інститутів (Incorporated Research Institutions for Seismology IRIS, США), Міжнаціональний Сейсмологічний Центр (International Seismological Centre - ISC), Європейсько-Середземноморський сейсмологічний центр (European-Mediterranean Seismological Centre - EMSC), Національний Сейсмологічний Інформаційний Центр США (NEIC), Карпатська регіональна сейсмологічна мережа, підрозділ збору і нагромадження інформації Національного центру сейсмологічних даних України, пункт сейсмічних спостережень з автоматичною реєстрацією та передачею даних в реальному часі на острові Зміїний. Сайти цих організацій, де частково реалізовано інформаційні технології, забезпечують безперервний on-line доступ до даних, що надходять з різних геофізичних приладів і зберігаються на окремих серверах, ftp, базах даних. Вхідними даними є первинна геофізична інформація з вимірювальних приладів, вихідними – вхідні дані у вигляді графіків на сайті.

Огляд літературних джерел показав, що часто до складу технічного забезпечення систем моніторингу входить: сервери даних, обчислень, дзеркальні, FTP, комутовані та виділені лінії зв'язку, різні типи цифрових реєстраторів, каналів зв'язку. Програмне забезпечення складають: системи управління базами даних (СУБД), компілятори та інтерпретатори мов програмування, допоміжні службові і програми обслуговування, доступ користувачів до моніторингових даних організовується через WEB-інтерфейс або безпосередньо на FTP-сервер.

Вивчення та огляд наукових публікацій, де обговорюються методи опрацювання та аналізу геофізичних даних, показало, що для різних методів досліджень використовуються різні методики опрацювання отриманих даних. Окремий інтерес складають методи опрацювання даних геоелектромагнітних



спостережень, що проводяться з метою виявлення і вивчення провісників землетрусів. Здебільшого такі питання особливо активно і досліджуються, і обговорюються, і висвітлюються фахівцями тих країн, де є висока сейсмічна небезпека: США, Мексика, Італія, Греція, Індонезія, Японія. Багато авторів аргументовано доводять про існування провісників землетрусів, проте єдиного та універсального підходу щодо їх виявлення у будь-якому регіоні на сьогодні немає і для дослідження певної конкретної області науковці пропонують свої методи опрацювання та аналізу даних природного електричного поля. При цьому використовуються: спектральний, фрактальний, мультифрактальний аналізи, швидке перетворення Фур'є, t-критерій Стьюдента, U-критерій Манна-Уїтні, ковзне середнє для згладжування, фрактальний метод Хигучі. Проведений огляд доступних публікацій дає підстави зробити висновок, що кожен регіон вимагає свого підходу та потребує свої специфічні алгоритми аналізу, а водночас і засвідчив той факт, що метод обробки, який підходить для одного регіону, може виявитися зовсім не придатним для іншого, тобто недоліком є те, що жоден з методів не є універсальним. Звідси випливає необхідність проведення безперервного моніторингу природного електричного поля, а також вивчення і дослідження його змін на території Закарпатської сейсмоактивної зони на основі розробки методів аналізу даних моніторингових спостережень для цієї зони.

Методи опрацювання польових експериментальних даних, викладені авторами у літературних джерелах, описують класичну інтерпретацію даних методу ЗСБ, що є складною і тривалою процедурою, яка включає поетапні, послідовні багатокрокові розрахунки і розв'язки прямих (аналітичним способом із застосуванням положень теорії електромагнітного поля; з використанням математичного або фізичного моделювання) та обернених задач з урахуванням апріорної геолого-геофізичної інформації. Недоліком є те, що така робота потребує чималих затрат часу та зусиль кваліфікованих спеціалістів, використання потужної обчислювальної техніки з відповідним математичним і програмним забезпеченням. Питання швидкого експрес-аналізу польових даних, орієнтованого на опрацювання даних в процесі виконання польових експедиційних робіт, залишаються поза увагою.

Загалом, проведений аналіз сучасного стану наукових досліджень та існуючих методів, моделей та засобів показав, що: 1) на сьогодні не існує єдиної методики постійних моніторингових досліджень, оскільки кожна область специфічна і потребує унікальних підходів та методів щодо спостережень, аналізу та опрацювання таких даних; 2) невирішеними є питання експрес-аналізу первинних польових даних електромагнітних досліджень методом ЗСБ; 3) відсутня загальна технологія швидкої та оперативної обробки результатів геоелектромагнітних спостережень, яка б в єдиній системі поєднувала і моніторингові, і польові групи даних, гарантувала одночасний прийом-передачу, збереження і доступ до кожної з них, а також в одному цілісному комплексі охоплювала весь процес досліджень, починаючи від реєстрації та збору первинної геофізичної інформації і закінчуючи формуванням архівів, візуалізацією отриманих даних та графічним представленням результатів їх опрацювання та аналізу в режимі реального часу.

**У другому розділі** розроблено інформаційну модель структурування польових та моніторингових даних геофізичних спостережень, подано специфіку постійних і

польових геофізичних досліджень, проведено класифікацію ознак таких досліджень, описано використовувані геофізичні методи досліджень, процедури реєстрації та збору первинних даних, викладено формати їх представлення.

Польові спостереження методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні, як і моніторингові методом природного електричного поля мають свої характерні особливості, мету та специфіку проведення.

Роботу з даними постійних моніторингових досліджень розглянуто на прикладі вивчення природного електричного поля на режимній геофізичній станції (РГС) "Нижнє Селище" (Закарпатська область, Хустський район, географічні координати станції: 48.197472° пн.ш., 23.456028° сх.д.). Дана РГС розташована на території Закарпатської сейсмоактивної зони, тому, окрім інших геофізичних вимірювань, на станції ведуться неперервні спостереження з метою вивчення динаміки змін характеристик поля з плином часу, а головно – виявлення провісників землетрусів на вказаній території. Для досліджень використовується метод природного електричного поля, суть якого полягає у визначенні параметрів ПЕП у двох взаємно перпендикулярних напрямках: північ-південь (Пн-Пд), захід-схід (Зх-Сх). Для цього на території РГС розгорнута спеціальна вимірювальна установка (рис.1). Природне поле вивчають шляхом вимірювань різниці потенціалів.

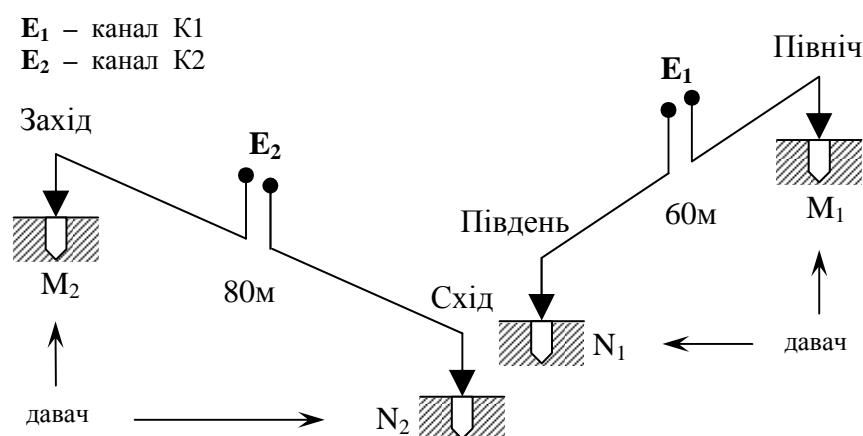


Рисунок 1 – Схема вимірювальної установки

Вимірювальна установка складається з двох пар електродів, що розташовані строго у напрямку Пн-Пд, Зх-Сх. Електроди зафіксовані на віддалі: напрямку Пн-Пд – 60 м один від одного, Зх-Сх – 80 м. Установка є стаціонарною, забезпечує вимірювання ПЕП у двох напрямках, реєстрація інформаційних сигналів

відбувається за єдиною методикою з використанням незмінного складу апаратури, принцип роботи такий: дві пари електродів постійно вимірюють аналогові значення каналних напруг К1, К2, що відповідають різниці потенціалів  $E_1$ ,  $E_2$  на електродах напрямку Пн-Пд ( $E_1$ ), Зх-Сх ( $E_2$ ). Далі здійснюється аналогово-цифрове перетворення цих сигналів. Технологічно весь процес вимірювань є цілком автоматизованим, що дає можливість вести моніторинг локального природного електричного поля безперервно і круглодобово. Реєстрація та збір геофізичної інформації: протягом доби вимірювальна апаратура автоматично що 5 хвилин реєструє значення каналних напруг з обох напрямків, а щогодини – додатково температуру. Серед зафіксованих величин: значення напруги і температури – дійсні числа, значення часу (за Гринвічем) – годин та хвилин – цілі. Діапазони: годин: 00 - 23; хвилин: 00 - 55;  $E_1$ ,  $E_2$ :  $\pm 199.99$  мВ.

Наприкінці кожної доби всі зареєстровані сигнали записуються у вигляді кількох масивів послідовних значень, зберігаються за кожну добу – в окремому

текстовому файлі і для подальшого опрацювання та архівування автоматично відсилаються на сервер. З огляду на те, що геофізична інформація передається з використанням GSM-мереж операторів стільникового зв'язку, для мінімізації часу передачі, зменшення розміру файлу, економії заряду акумулятора передавального пристрою, а також з

метадані	30.05.2016 NSEL 6778 17 -26.3
дані:	00:00 30 +2344
	00 +3793 -3097
	05 +3764 -3106
	10 +3767 -3138
	15 +3777 -1080
	20 +3772 -1290
	25 +3769 -3156
	30 +3782 -3169
	35 +3770 -3138
	40 +3711 -1720
5-хвилинні записи:	45 +3713 -3134
хв (30)	50 +3749 -3099
E1 з каналу K1 (+3782)	55 +3719 -3092
E2 з каналу K2 (-3169)	01:00 30 +2381
	00 +3741 -3091
	55 +3954 -0307
щогодинні записи:	23:00 30 +2437
год:хв (23:00)	00 +3970 -0302
день (30)	05 +4019 -2927
температура (+2437)	50 +3973 -2999
	55 +3975 -3001
	час E1 E2
	год / хв мВ мВ
	Гринвіч Пн-Пд Зх-Сх

врахуванням технологічних особливостей вимірювальної апаратури, дані ПЕП зберігаються у спеціальному форматі (рис.2). Структура складається з двох частин: метадані зі службовою інформацією про виміри (дата проведення, скорочена назва РГС, заряд акумулятора, рівень сигналу, кошти на рахунку), і дані – із зареєстрованими значеннями інформаційних сигналів у спецформаті (рис.2) з використанням символно-літерних знаків (табл.1), які означають: k - «+1», m - «-1», >>>>> - вимірне значення за межами робочих діапазонів.

Рисунок 2 – Структура файлів з даними ПЕП

Таблиця 1

Взірці файлів даних ПЕП

файл 1	файл 2	файл 3
15.07.2017 NSEL	15 +2721 -0980	25 +6045 m7971
6770 15 -4.21	20 +2565 -1008	30 +5675 m8950
00:00 15 +2425	25 +2535 m0297	35 +5646 m8925
00 k1091 -3506	30 +2555 m0300	40 +4902 >>>>>
05 k1065 -3549	35 +2491 m0377	45 +4671 >>>>>

Для перетворення даних (табл.1) до числового вигляду розроблено інформаційну модель (рис.3) та алгоритм їх структурування, що містить кроки:

- Крок 1. Всі значення хвилин записуються у повному форматі дати;
- Крок 2. Всі неінформативні щогодинні записи вилучаються (за потреби);
- Крок 3. Спецсимволи замінюються на відповідні числові;
- Крок 4. Всі дійсні значення записуються як числа з двома символами після « . » ;
- Крок 5. Всі інші символи сприймаються як збій апаратури і не обробляються.



Рисунок 3 – Інформаційна модель структурування моніторингових даних ПЕП

Результат структурування даних представлений у табл.2.

Файли моніторингових вимірювань ПЕП

оригінальний у спецформаті	перетворений за описаним алгоритмом
55 +5897 -1827	04.02.2016 6:55 +58.97 -18.27
07:00 04 +1575	04.02.2016 7:00 04 +15.75
00 +6090 m7730	04.02.2016 7:00 +60.90 -177.30
05 +6101 m7871	04.02.2016 7:05 +61.01 -178.71
10 +6432 m6601	04.02.2016 7:10 +64.32 -166.01
15 +6193 m7325	04.02.2016 7:15 +61.93 -173.25
20 k6097 -1764	04.02.2016 7:20 +160.97 -17.64

Використання алгоритму структурування моніторингових даних методу ПЕП дає змогу усунути символічно-літерні знаки, натомість усі нецифрові та цифрові символи представити цифровими відповідного типу і точності, що загалом забезпечує можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

Роботу з даними польових досліджень розглянуто на прикладі вивчення геологічного середовища проблемного об'єкту методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні. Польові дослідження проводились в м.Стебник Львівської області, Дрогобицького району з 04.11.2017р. по 16.11.2017р. на території Стебницького родовища калійних солей з метою детального аналізу геологічного розрізу та розгорнутої оцінки міцності і надійності земляного насипу дамби. Спостереження велися вздовж усього периметру, для цього по верхній частині дамби (тобто, по гребеню) був прокладений один профіль і розбитий з відповідним кроком на пікети. Довжина профілю – понад 3км, кількість точок спостережень – 95. Для досліджень використовувався метод ЗСБ як один з ефективних та інформативних методів, яким послуговуються при вивченні приповерхневої частини геологічного середовища в районах провалів, обвалів, просідань ґрунту, на забруднених чи зсувонебезпечних ділянках, екологічно-

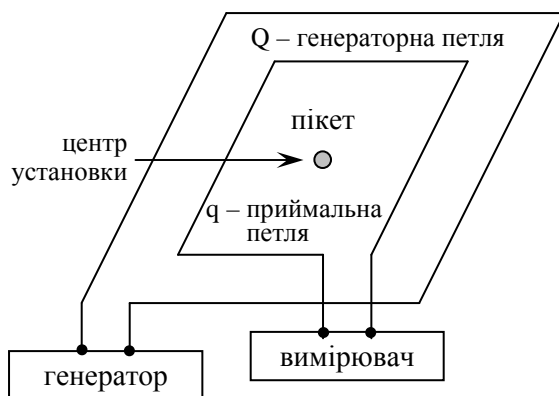


Рисунок 4 – Установка "петля в петлі"

проблемних територіях. Метод ЗСБ заснований на явищі електромагнітної індукції, належить до методів зі штучним (контрольованим) джерелом і полягає у вивченні поля перехідних процесів, що виникає в землі при зміні струму в джерелі. Однією з типових установок методу є "петля в петлі" (рис.4). Вона складається з двох незаземлених квадратних петель: генераторної (живильної) Q, яка є джерелом, та приймальної (вимірювальної) q, що виступає приймачем. Петлі розкладаються на поверхні землі у вигляді квадратів зі спільним центром, як правило, симетрично одна в одній. Реєстрація та збір геофізичної інформації: на кожному пікеті профілю безпосередньо під час виміру при допомозі приладу "Стадія-М" в генераторній петлі Q постійно подавалися прямокутні знакозмінні імпульси. Фіксація перехідного процесу у приймальній петлі q відбувалася на вимкненні струму в генераторній петлі Q (рис.5).

У журнали польових робіт часові затримки, на яких фіксуються виміри, записуються у мкс, електрорушійна сила (ЕРС) – мкВ. Значення часових затримок – цілі числа, ЕРС – дійсні. З огляду на те, що польові дослідження проводяться за

умов строгої економії ресурсів і часу, записи в журналах ведуться у максимально спрощеному та мінімалізованому форматі, на кожному пікеті фіксується: дата і час проведення вимірів, ідентифікатор пікету, розміри генераторної і приймальної петлі Qxq, географічні координати точки спостережень, альтитуда (висота над рівнем моря), часові затримки і відповідні значення ЕРС, зареєстровані при різних полярностях поданого струму (в « + » та « - ») (рис.6).

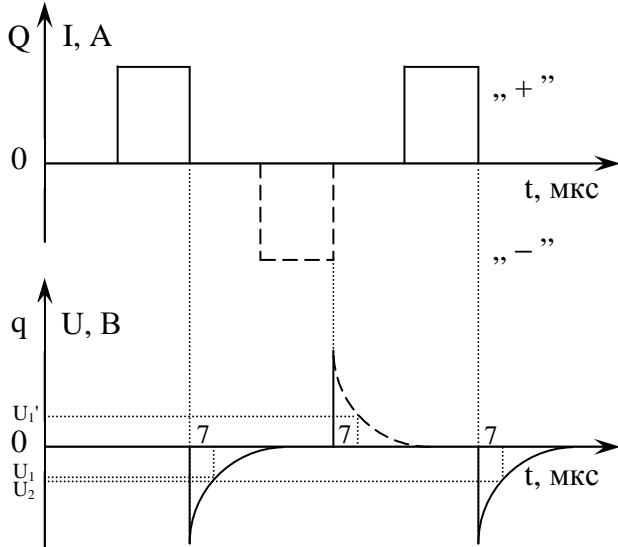


Рисунок 5 – Схематичне зображення процесу польових вимірів методом ЗСБ

Дані польових вимірів методом ЗСБ:

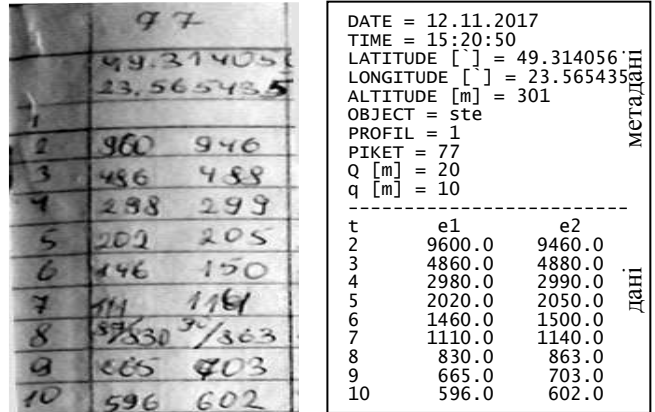


Рисунок 6 – Оригінальний запис (ліворуч) і структуровані дані (праворуч)

Для подальшої роботи над польовими даними інформація з журналів має бути переведена в електронний вигляд, причому по кожному пікеті збережена в окремому файлі.



Рисунок 7 – Інформаційна модель структурування даних ЗСБ

розроблена інформаційна модель структурування польових даних ЗСБ подана на рис.7. Вона складається з розділу метаданих та самих даних (рис.7, б): у розділі метаданих – інформація про дату і місце вимірів, конкретні характеристики вимірювальної установки: дата і час проведення вимірів, широта (LATITUDE, десяткові градуси), довгота (LONGITUDE, десяткові градуси), альтитуда (ALTITUDE, м) точки спостережень, ім'я об'єкта, профіль, пікет, сторона квадрату генераторної (Q, м), приймальної (q, м) петлі. У розділі даних – колонка часових затримок (масив t) і відповідні їм дві колонки значень ЕРС (масиви e1(t), e2(t) в « + » та « - »). Таке представлення даних польових вимірювань разом зі службовою інформацією забезпечило можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

У третьому розділі розроблено модель тренду часового ряду моніторингових даних, метод їх експрес-аналізу, алгоритми візуалізації та удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними польових спостережень.

Специфіка моніторингових спостережень методом природного електричного поля та польових методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні визначає різні методи опрацювання їх результатів.

Добовий запис даних природного електричного поля містить 288 значень (рис.8). Вимірювання ПЕП відбуваються автоматично що 5 хвилин протягом усієї доби (рис.9).

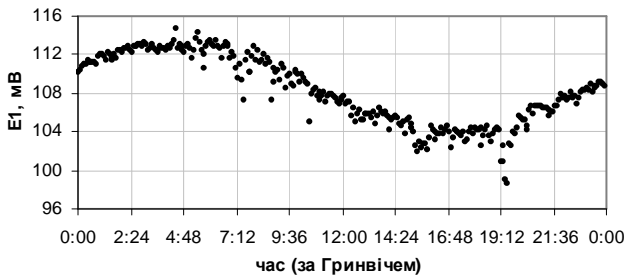


Рисунок 8 – Добовий запис даних ПЕП

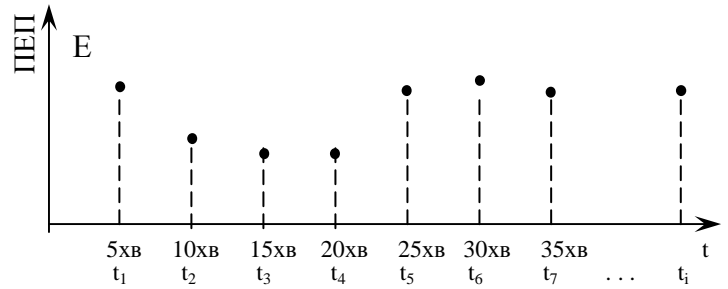


Рисунок 9 – Схематичне зображення процесу постійних вимірювань ПЕП

Подобові графіки ПЕП мають чітко виражений періодичний характер, а якщо візуально проаналізувати кілька записів підряд, то окрім однакової їх поведінки можна побачити, що з кожним днем в межах діапазону дослідження середнє значення різниці потенціалів спадає (рис.10). Це може бути пов'язане з електрохімічними процесами на електродах, в землі, з метеорологічними явищами.



Рисунок 10 – Зафіксовані дані ПЕП (3 доби поспіль)

Для вивчення та дослідження поведінки природного електричного поля розроблено метод експрес-аналізу моніторингових даних ПЕП, суть якого полягає у використанні апарату описової статистики і моделювання трендів часових рядів та складається з таких кроків:

Крок 1. Побудова моделі тренду часового ряду моніторингових даних. На цьому кроці були побудовані подобові графіки ПЕП впродовж місяця і представлені на одному графіку (рис.11). Функцією для апроксимації подібних даних,



Рисунок 11 – Зафіксовані дані ПЕП за 1 місяць

що по черзі зростають і спадають, доцільно обрати поліном третього степеня:  $y(t) = a_3 \cdot t^3 + a_2 \cdot t^2 + a_1 \cdot t + a_0$ . Тренди подобових даних, апроксимовані поліномами з математичними моделями  $y=f(x)$  та коефіцієнтами детермінації – на рис.12.

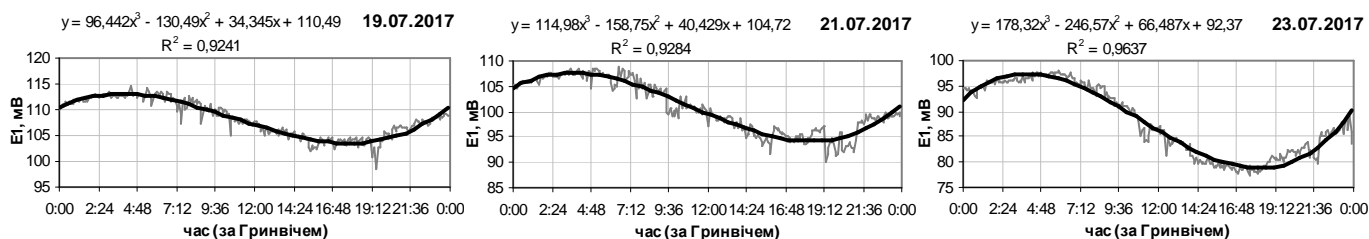


Рисунок 12 – Тренди подобових даних, апроксимовані поліномами третього степеня

Крок 2. Пошук для кожної доби місяця коефіцієнтів моделей тренду, які були побудовані подово на кроці 1, середнього значення для кожної доби та формування масивів абсолютних значень коефіцієнтів моделей. За даними постійних моніторингових спостережень ПЕП були розраховані коефіцієнти моделей подового тренду для одного місяця (липень) цілком (табл.3) і представлені їх абсолютні значення на одному графіку (рис.13).

Таблиця 3

Результати апроксимації даних для одного місяця подово

Доби з/п	Коефіцієнти поліному				R <sup>2</sup>	Середнє Y
	a3	a2	a1	a0		
1	112,83	-160,06	50,399	131,27	0,7843	131,32
2	41,283	-52,377	9,3432	130,94	0,7488	128,48
...	...	...	...	...	...	...
30	180,7	-259,85	81,759	66,446	0,925	65,88
31	178,78	-261,8	90,269	62,712	0,9228	65,26

Крок 3. Пошук для кожної доби місяця показників описової статистики (табл.4): міри центральної тенденції та міри варіації (рис.14) нормовані.

Таблиця 4

Результати нормування показників описової статистики

Дата	День з/п	Нормовані показники описової статистики					
		Міри центральної тенденції			Міри варіації		
		середнє арифметичне	медіана	мода	стандартне відхилення	розмах (інтервал)	коефіцієнт варіації
01.07.2017	1	1,00	1,00	1,00	0,38	0,24	0,03
02.07.2017	2	0,96	0,96	0,87	0,16	0,04	0,02
...	...	...	...	...	...	...	...
30.07.2017	30	0,01	0,01	0,08	0,74	0,27	0,09
31.07.2017	31	0,00	0,00	0,00	0,56	0,23	0,07

Крок 4. Побудова за знайденими на кроці 2 та кроці 3 значеннями коефіцієнтів моделей та показників описової статистики окремих графіків залежностей.



Рисунок 13 – Коефіцієнти моделі



Рисунок 14 – Показники статистики

Візуальний аналіз графіків вказує на особливі точки-доби, де значення коефіцієнтів моделі (рис.13) та показників описової статистики (рис.14) збігаються. Такі збіги можуть свідчити про нетипову поведінку ПЕП в окреслених діапазонах і вказувати на ті ділянки часового ряду, де електричні сигнали з великою імовірністю пов'язані зі сейсмічними подіями.

Таким чином, модель тренду часового ряду моніторингових даних у формі поліному третього степеня дає змогу подати і дослідити подовгову динаміку природного електричного поля, а розроблений метод експрес-аналізу моніторингових даних на основі визначення показників описової статистики та моделювання трендів часових рядів дає можливість виявити ті часові діапазони, що потребують подальшого детальнішого аналізу та вивчення.

У розділі також удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними польових вимірювань методом ЗСБ. Схематичне зображення такої побудови представлено на рис.15.

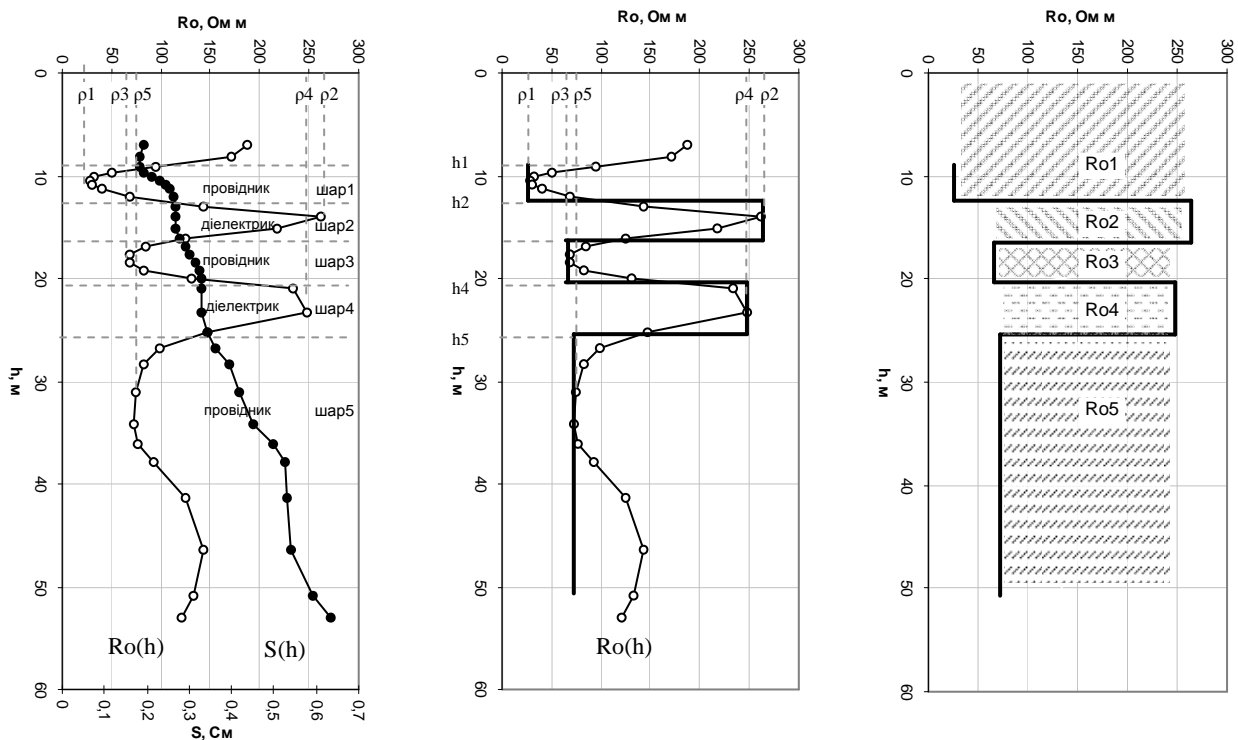


Рисунок 15 – Схематичне зображення процесу побудови моделі розрізу

На графіку поздовжньої сумарної провідності  $S(h)$ : відрізки, де крива зростає, вказують на провідний шар; де майже незмінна – діелектрик; точки перегину кривої – приблизні межі шарів. На графіку електричного опору  $Ro(h)$ : мінімальні та максимальні  $Ro$  – орієнтовні значення опорів шарів, точки перегину кривої – приблизні межі шарів.

Алгоритм побудови моделі геоелектричного розрізу складається з кроків:

- Крок 1. Розрахунок кривих поздовжньої сумарної провідності  $S(h)$  та питомого електричного опору  $Ro(h)$ ;
- Крок 2. Пошук з кривої питомого електричного опору  $Ro(h)$ , що була розрахована на кроці 1, мінімальних та максимальних значень – це орієнтовні опори шарів;
- Крок 3. Пошук з кривої питомого електричного опору  $Ro(h)$ , що була розрахована на



кроці 1, точок перегину – це приблизні межі шарів;

Крок 4. Формування масивів опорів та відповідних їм глибин залягання для графічного представлення моделі розрізу;

Крок 5. Збереження вихідних даних та вивід графіків.

Суть розробленого методу полягає у тому, що параметри моделі геоелектричного розрізу отримуємо за розрахованими (за відомими асимптотичними формулами) значеннями питомого електричного опору із застосуванням для знаходження потрібних масивів питомих опорів і відповідних їм глибин першої та другої похідних кривої  $R_0(h)$  (табл.5).

Таблиця 5

Результати розрахунків для побудови моделі

№	t, мкс	h, м	R <sub>0</sub> , Ом	1 похідна	2 похідна
1	2	7,08	187,14		
2	3	8,19	170,99	-14,43	
3	4	9,14	95,11	-80,40	-69,89
4	5	9,64	49,81	-89,97	-19,02
5	6	10,07	32,03	-41,96	113,29
...			...		...

Ідея розробленого методу наступна (рис.16):

1) розраховується крива питомого електричного опору  $R_0(h)$ . На даному етапі для кожного значення часу затримок перехідного процесу  $t_i$  шукаються значення  $S_i$ ,  $h_i$ ,  $R_{0i}$  та формуються відповідні залежності поздовжньої сумарної провідності  $S(h)$  і питомого електричного опору  $\rho(h)$  від глибини  $h$ . При цьому використовуються такі асимптотичні формули: ЕРС індукції у вимірнювальній петлі нормована на струм у генераторній  $\Delta V/I$  над непровідним півпростором, в котрому міститься тонкий провідний шар:  $E_i = \Delta V/I = \frac{3Qq}{16\pi S_\tau} \cdot \frac{1}{(h_\tau + t/\mu_0 S_\tau)^4}$  та скінченна сумарна провідність

$h_\tau \sigma = S_\tau$ , де:  $h_\tau$  – глибина проникнення нестационарного електромагнітного поля,  $\sigma$  – питома провідність шару,  $S_\tau$  – сумарна еквівалентна провідність шарів, охоплених нестационарним електромагнітним полем,  $Q$  – площа генераторної петлі,  $q$  – площа приймальної петлі,  $\mu_0$  – магнітна проникність вакууму,  $t$  – час від початку перехідного процесу. Та виведені на їх основі формули для алгоритму розрахунку:

– для розрахунку сумарної провідності:  $S(i) = S_i = \frac{3Qq}{\pi r^4} \cdot \frac{m_i(3-8m_i^2)}{(1+4m_i^2)^{7/2}} \cdot \frac{1}{E_i}$ , де  $E_i$  –

вимірне значення ЕРС (нормоване на струм),  $r$  – сторона генераторної петлі,  $Q$  – площа генераторної петлі,  $q$  – площа приймальної петлі;

– значення  $m_i = t$ , при якому  $\varphi(m)_{theor} = \varphi(m)_{exp}$ . Теоретичні значення функції  $\varphi(m)$  знаходять за формулою:  $\varphi(m)_{theoret} = \frac{(3-96m^2+128m^4)(1+4m^2)^{5/2}}{m^2(3-8m^2)^2}$ , експериментальні

значення функції  $\varphi(m)$ :  $\varphi_i(m)_{exp} = \frac{3\mu_0 Q q}{\pi r^3} \cdot \frac{E_i'}{E_i^2}$ , де  $E_i'$  – похідна по часу нормованої ЕРС;

– для глибини залягання провідного шару:  $h_i = 0.75 m_i r$ ;

– для розрахунку питомого електричного опору шару (обернене значення градієнта провідності з глибиною):  $R_0(i) = \frac{\partial h}{\partial S}(i) = \frac{h_i - h_{i-1}}{S_i - S_{i-1}}$ .

2) масиви значень  $Y$  та  $X$  для побудови моделі отримуємо:

– значення  $Y$  – значення питомих опорів шарів  $\rho_i$  – береться з кривої  $R_0(h)$  в точках її екстремумів (значення  $y$ ), тобто в точках, де 1 похідна кривої  $R_0$  по глибині дорівнює 0 :  $\frac{\partial \rho_i}{\partial h_i} = 0$  ;

– значення  $X$  – значення границь шарів  $h_i$  – береться з кривої  $R_0(h)$  в точках її перегину (значення  $x$ ), тобто в точках, де 2 похідна кривої  $R_0$  по глибині дорівнює 0 :  $\frac{\partial^2 \rho_i}{\partial h_i^2} = 0$  .

3) для пошуку похідних, рівних 0 (точки переходу через 0), достатньо скористатися лінійною інтерполяцією або розрахувати самостійно.

4) на етапі пошуку значень  $Y$  питомих опорів шарів пропонується для отримання максимально точного результату спершу криву  $R_0(h)$  в інтервалах між дискретними розрахованими значеннями інтерполювати сплайнами.

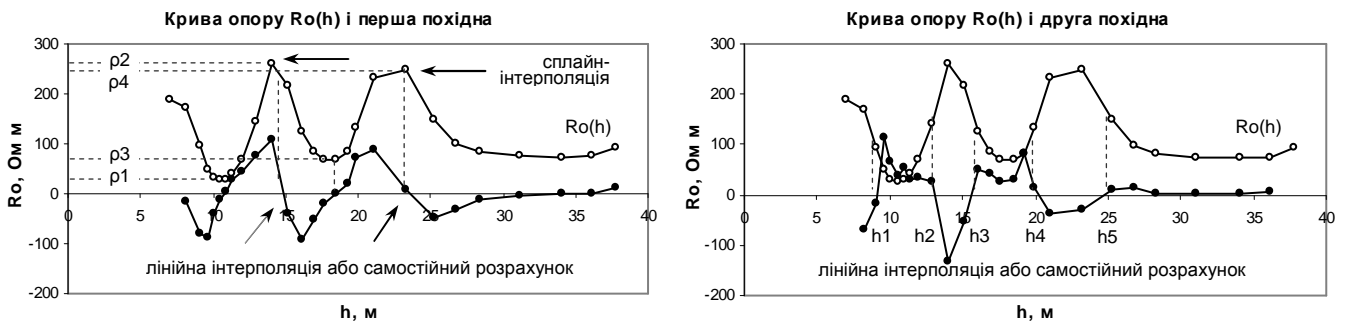


Рисунок 16 – Розрахунок параметрів моделі геоелектричного розрізу

Розроблений метод забезпечує розрахунок характеристичних параметрів середовища за даними експериментальних спостережень методом ЗСБ та побудову на основі отриманих значень моделі геоелектричного розрізу в польових умовах.

**У четвертому розділі** розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень (рис.17), структуру автоматизованої системи (АС) експрес-аналізу даних, що реалізує інформаційну технологію та програмно-алгоритмічне забезпечення АС.

Структура автоматизованої системи складається з 4 підсистем: передавальної (вимірювальної, польової), приймальної, підсистеми опрацювання та аналізу, а також доступу, представлення та візуалізації (рис.18). Для роботи з даними використовується FTP-сервер vsftpd, де рух інформаційних потоків організований так: для прийому даних постійних моніторингових спостережень з режимних геофізичних станцій та стаціонарних пунктів створені відповідні директорії: для даних з РГС "Нижнє Селище" – [NSEL], РГС "Берегове" – [BER], РГС "Тросник" – [TRO], РГС "Брід" – [BRI], куди скеровуються файли з моніторинговими даними; прийом даних організований таким чином, що кожен прилад передачі має доступ до відведеної лише для нього директорії; для польових даних створено одну спільну директорію [AUX], куди всі інформаційні потоки з поля спочатку скеровуються саме туди. Пізніше, після завершення усіх польових робіт, дані переносяться в окремі директорії.

Для маніпуляцій з окремими групами даних розроблена система окремих груп користувачів (рис.18) – це, як правило, по два: один користувач: має обмежені права, від його імені дані з FTP можна лише зчитати; другий користувач: має максимальні права на доступ, від його імені можна записувати дані на FTP, редагувати, знищувати. Вся службова інформація про користувачів та їхні облікові записи (id, login, password) зберігаються в СУБД MySQL.



Рисунок 17 – Структурно-функціональна модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень

До складу технічного забезпечення АС входить: для реєстрації природного електричного поля – дві пари електродів, електромагнітного поля – прилад "Стадія-М", для передачі даних – прилад "Вістун". Окрім того, до складу серверної частини системи належить сервер з комплексом серверного програмного забезпечення LAMP: операційна система (ОС) Linux, Web-сервер Apache, сервер баз даних СУБД MySQL, інтерпретатори: PHP, Python, спеціалізований математичний пакет з ліцензією GNU GPL Octave та FTP-сервер vsftpd, налаштований і сконфігурований на безперервний прийом пакетів геофізичної інформації.

Програмне забезпечення АС розроблене з використанням середовищ програмування Python та Octave і є кросплатформовим. Для побудови графічних інтерфейсів застосовувалися технології: HTML, CGI, SSI, JavaScript, DHTML, CSS.

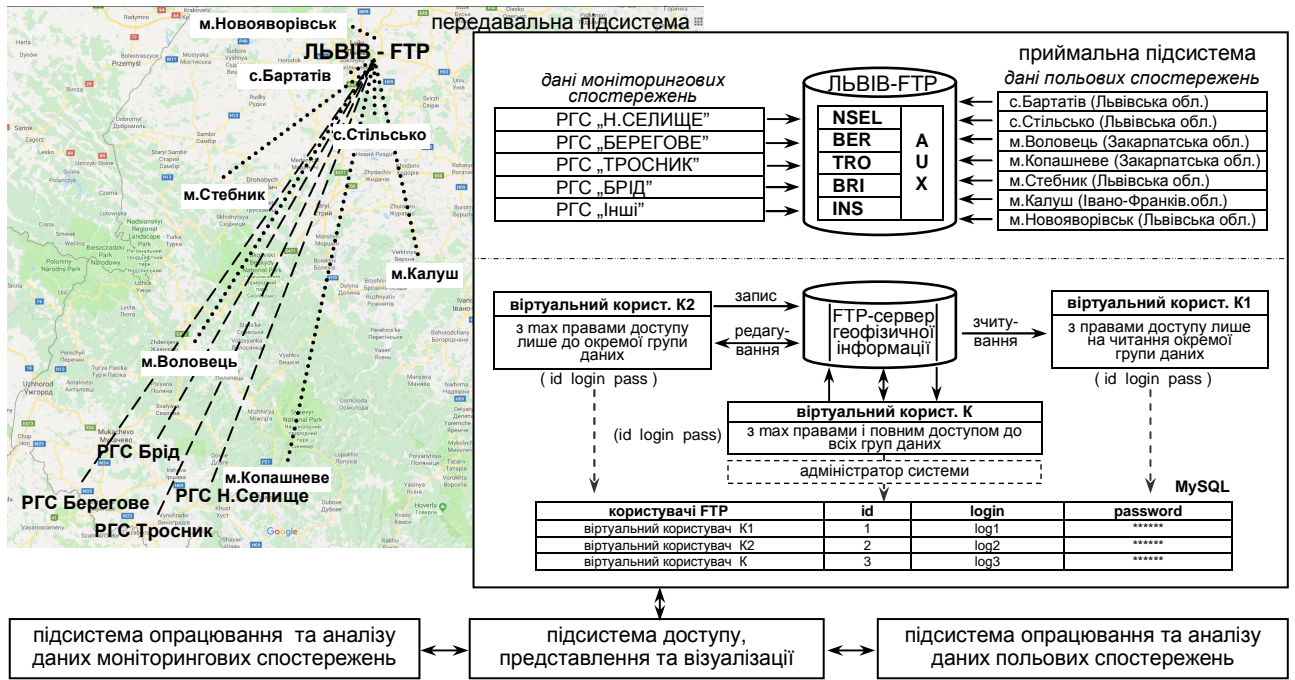


Рисунок 18 – Структура автоматизованої системи експрес-аналізу даних  
Структура програмного забезпечення представлена на рис.19.

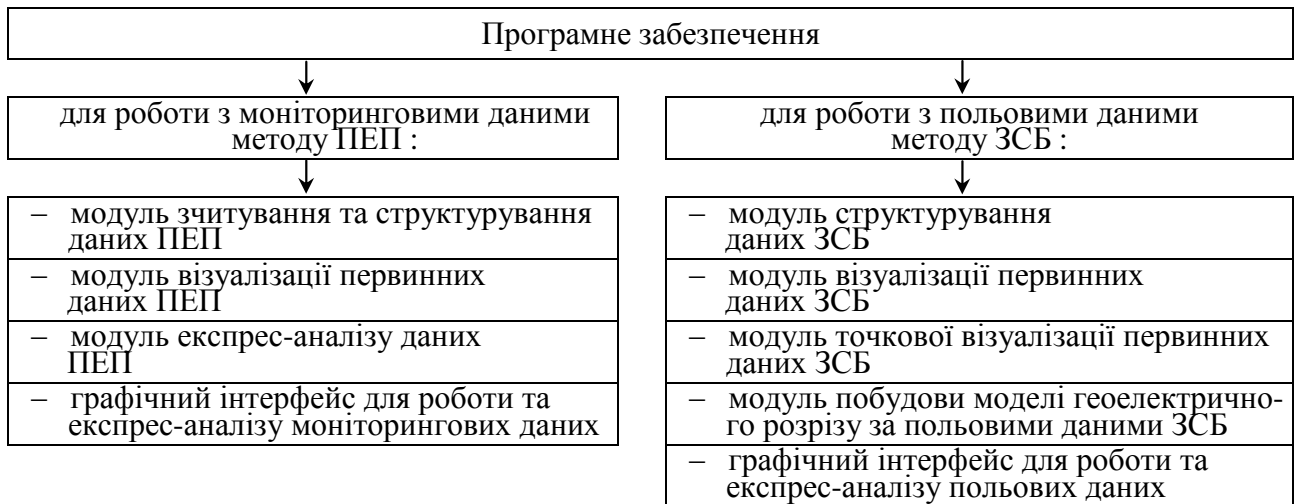


Рисунок 19 – Структура програмного забезпечення АС експрес-аналізу даних

Алгоритм функціонування АС: в процесі роботи системи на FTP постійно надходять файли з геофізичною інформацією. Внаслідок цього на сервері формуються архіви первинних моніторингових даних природного електричного поля та даних польових спостережень методом ЗСБ, які постійно поповнюються і є доступні круглодобово в режимі on-line. Візуалізація даних та їх опрацювання забезпечуються через розроблені спеціалізовані Web-сайти окремо для роботи та експрес-аналізу моніторингових даних ПЕП і даних польових спостережень ЗСБ. Доступ до даних можливий через Web-інтерфейс сайтів або через авторизований вхід до окремих груп даних. Система досяжна: для користувачів локальної обчислювальної мережі – в режимах on- та off-line, для інших – лише режим on-line.

Розроблені методи і моделі інформаційної технології експрес-аналізу даних використовуються при постійних моніторингових дослідженнях на РГС "Нижне

Селище” (Закарпатська обл.) і періодичних польових спостереженнях. Отримано такі результати: сформовані і постійно поповнюються архіви первинних даних методами ПЕП і ЗСБ, проведений експрес-аналіз моніторингових даних, побудовані моделі геоелектричного розрізу для дамби Стебницького родовища калійних солей (рис.20).

## ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ

ТЕМ \* Зондування становленням поля в ближній зоні \* ZSB

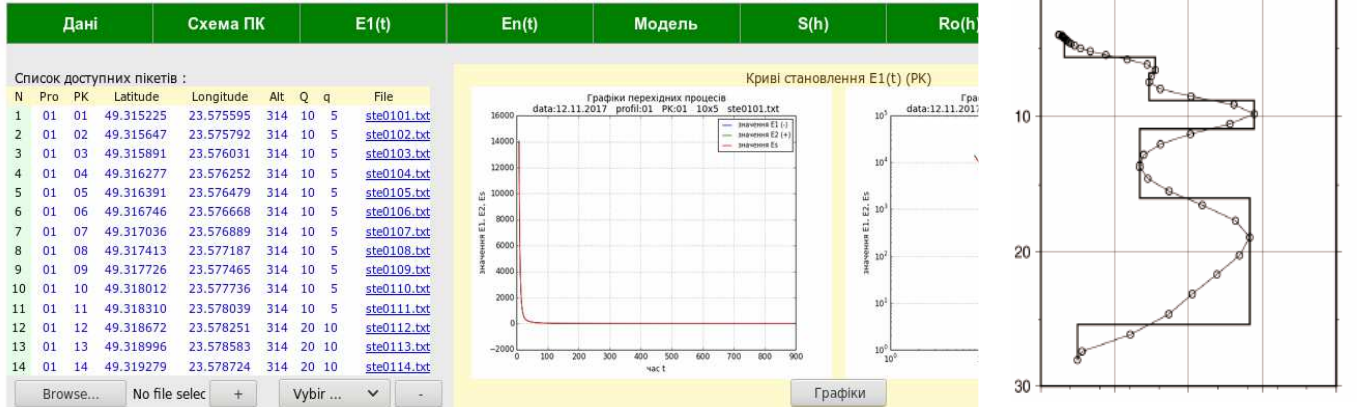


Рисунок 20 – Приклад меню системи опрацювання польових даних і модель розрізу

Автоматизована система експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень є абсолютно цілісним і логічно завершеним апаратно-програмним комплексом, що гарантує централізовану роботу з різними групами даних, забезпечує одночасний прийом-передачу, збереження і доступ до кожної з них, формуючи таким чином багаторічні і довготривалі архіви геоелектромагнітних спостережень. Окрім того, вся зібрана геофізична інформація, а також процедури візуалізації отриманих даних, графічного представлення результатів їх обробки та аналізу постійно доступні через спеціалізовані Web-сайти, що гарантує повноцінну роботу з даними у будь-який момент часу, з будь-якої точки і не залежить від використовуваної ОС чи програмного забезпечення, встановленого на клієнтській машині користувача.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано актуальне наукове завдання розроблення інформаційної технології експрес-аналізу даних для підвищення ефективності геофізичних досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля.

1. Проаналізовано методи, моделі і засоби опрацювання та експрес-аналізу геоелектромагнітних даних, описано їх особливості та недоліки, виокреслено основні напрямки розроблення програмно-алгоритмічних засобів для експрес-аналізу геофізичних даних, що дало можливість сформулювати задачі дисертаційного дослідження.

2. Розроблено модель тренду часового ряду моніторингових даних у формі поліному третього степеня, що забезпечує усунення шуму, заповнення пропущених даних та дає змогу подати і дослідити подоби динаміку природного електричного поля в точці спостережень.

3. Удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу в точці

спостережень, який, за рахунок використання асимптотичних формул до польових даних, забезпечує підтримку оперативного прийняття рішень про проведення подальших етапів вимірювань, зменшує час виконання польових робіт та підвищує достовірність досліджень. В результаті цього на основі побудованої у поточній точці спостережень моделі геоелектричного розрізу в польових умовах і в режимі реального масштабу часу можна скоригувати відстань до наступної точки спостережень або визначити додаткові. Наявність такої моделі середовища дасть змогу зекономити від 20% робочого часу на польові експериментальні роботи для малих петель 10x30 м і до 50% при використанні петель розміром 250x500 м.

4. Удосконалено метод експрес-аналізу моніторингових даних, який, за рахунок інтеграції описової статистики і моделей трендів часових рядів, дає змогу виявити часові діапазони з нетиповим характером поведінки природного електричного поля та імовірною кореляцією зі сейсмічними подіями.

5. Отримала подальший розвиток інформаційна модель структурування польових та моніторингових даних у частині поєднання службової інформації з даними вимірювань у розробленому форматі, що забезпечує можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

6. Розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, структуру автоматизованої системи, яка реалізує інформаційну технологію і підтримує роботу з моніторинговими даними методу природного електричного поля в режимі реального часу, з польовими даними методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні – в режимах off-line та on-line, що загалом підвищує ефективність геофізичних досліджень на  $\approx 25\%$ . Апаратно-програмний комплекс поєднує в єдиній системі різноманітні групи даних, гарантує одночасний прийом-передачу, збереження і доступ до кожної з них, а також в одній цілісній структурі охоплює весь процес досліджень, починаючи від реєстрації та збору первинної геофізичної інформації і закінчуючи формуванням архівів, візуалізацією отриманих даних та графічним представленням результатів їх обробки та аналізу.

7. Розроблено спеціалізовані програмно-алгоритмічні засоби інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля на базі вільного і відкритого програмного забезпечення, яке поширюється за умовами безкоштовної ліцензії, що дає можливість автоматизувати опрацювання даних.

8. Результати дисертаційної роботи використовуються при виконанні науково-дослідних робіт, проведенні геофізичних спостережень, зборі та обробці даних у Карпатському відділенні Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України та застосовуються при розробці сучасних геофізичних приладів у Львівському центрі Інституту космічних досліджень.

### **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Камінський Р.М. Метод попереднього оброблення первинних геоелектромагнітних даних, отриманих із режимної геофізичної автоматичної станції / Р.М.Камінський, Н.Б.Шаховська, Л.Г.Савків, Я.Ю.Варецький, С.В.Саварин

- // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – Т. 28, № 7. – С. 126–134. <https://doi.org/10.15421/40280726> . (Index Copernicus).
2. Камінський Р.М. Побудова моделі геоелектричного розрізу за результатами формальної інтерпретації даних методу зондування становленням поля в ближній зоні / Р.М.Камінський, Н.Б.Шаховська, Б.Т.Ладанівський, Л.Г.Савків // Бионика интеллекта: информация, язык, интеллект. – 2018. – № 2(91). – С. 60–65. (Index Copernicus).
3. Савків Л.Г. Розроблення структур файлів для оптимального відображення первинних електромагнітних даних геофізичних досліджень / Л.Г.Савків // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Серія: Інформаційні системи та мережі: зб. наук. пр. – 2018. – № 887. – С. 105–115.
4. Савків Л.Г. Модуль візуалізації первинних геофізичних даних / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Серія: Комп’ютерні науки та інформаційні технології: зб. наук. пр. – 2016. – № 843. – С. 65–73.
5. Савків Л.Г. Сучасні інформаційні технології в організації геофізичних досліджень / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Геофизический журнал. – 2018. – № 1. – С. 107–117. (Web of Science).
6. Савків Л.Г. Система дистанційного прийому-передачі даних геофізичних спостережень / Л.Г.Савків // Геоінформатика. – 2016. – № 2. – С. 59–67. (Index Copernicus).
7. Дешиця С.А. Оцінка стану екологічно проблемних об’єктів Калуського гірничо-промислового району електромагнітними методами та їх моніторинг / С.А.Дешиця, О.І.Підвірний, О.І.Романюк, Ю.В.Садовий, В.В.Коляденко, Л.Г.Савків, Ю.С.Мишишин // Наука та інновації. – 2016. – Т. 12, № 5. – С. 47–59. укр.[doi: http://dx.doi.org/10.15407/scin12.05.047](http://dx.doi.org/10.15407/scin12.05.047) ISSN 1815-2066. Nauka innov. 2016, 12(5): 47-59; англ.[doi: https://doi.org/10.15407/scine12.05.041](https://doi.org/10.15407/scine12.05.041) ISSN 2409-9066. Sci. innov. 2016, 12(5): 41-51. (Index Copernicus).
8. Дешиця С.А. Технологічний комплекс та результати електромагнітного моніторингу екологічно проблемних об’єктів Передкарпаття / С.А.Дешиця, О.І.Підвірний, О.І.Романюк, Л.Г.Савків // Геодинаміка. – 2014. – № 1(16). – С. 114–128. (Index Copernicus).
9. Kaminskyj R. The Primary Geo-electromagnetic Data Preprocessing Received from a Modified Geophysical Automatic Station / R.Kaminskyj, N.Shakhovska, L.Savkiv // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol.902: 2<sup>nd</sup> International conference of artificial intelligence, medical engineering, education, AIMEE 2018. Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. Springer, Cham. 6-8 October 2018. – P. 617 – 627. DOI: 10.1007/978-3-030-12082-5\_56 . (Scopus).
10. Савків Л.Г. Експрес-оцінка даних ЗСБ на поточній точці спостережень / Л.Г.Савків // Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: матеріали VI Міжнародної наукової конференції до 25-річчя Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України та 85-річчя професора Ярослава Сапужака, першого керівника КВ ІГФ НАН України (м.Львів, 20-23 вересня 2016р.). – Львів: Сполом, 2016. – С. 244–246.
11. Савків Л.Г. Internet-сервіси для графічного представлення даних геофізичних

спостережень в режимі реального масштабу часу / Л.Г.Савків // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах: матеріали наукової конференції-семінару, присвяченої пам'яті Т.З.Вербицького та Ю.Т.Вербицького (с.м.т. Верхне Синьовидне, 1–2 червня 2017р.). – Львів: Сполом, 2017. – С. 81–84.

12. Савків Л.Г. Застосування Web-технологій для візуалізації геофізичних даних в режимі on-line / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Актуальні проблеми геосередовища і зонduючих систем: матеріали III Міжнародної наукової конференції, присвяченої пам'яті видатних українських вчених у галузі електромагнітних досліджень: доктору фіз.-мат. наук В.М.Шуману, доктору геол. наук С.М.Куліку (м.Київ, 3-5 жовтня 2017р.). – К.: Талком, 2017. – С. 91–93.

13. Спосіб побудови підсистеми зв'язку та передачі даних безпілотних літальних апаратів (БПЛА): патент 116272 Україна. № а2015 12541 / С.А.Дещиця, О.І.Підвірний, Л.Г.Савків – заявл. 18.12.2015, опубл. 10.05.2017р., Бюл. № 9.

## АНОТАЦІЯ

**Савків Л.Г. Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

У дисертаційній роботі розв'язане актуальне наукове завдання – розроблення інформаційної технології експрес-аналізу даних для підвищення ефективності геофізичних досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля.

Розроблено модель тренду часового ряду моніторингових даних, представлену поліномом третього степеня, яка забезпечує усунення шуму, заповнення пропущених даних і дає змогу подати і дослідити подоби динаміку природного електричного поля в точці спостережень. Удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу в точці спостережень, який, за рахунок використання асимптотичних формул до польових даних, забезпечує підтримку оперативного прийняття рішень про проведення подальших етапів спостережень, зменшує час виконання польових робіт та підвищує достовірність досліджень. В результаті цього на основі побудованої у поточній точці спостережень моделі геоелектричного розрізу в польових умовах і в режимі реального часу можна скоригувати відстань до наступної точки або визначити додаткові. За рахунок інтеграції апарату описової статистики та моделювання трендів часових рядів удосконалено метод експрес-аналізу моніторингових даних, який забезпечує виявлення часових діапазонів з нетиповою поведінкою природного електричного поля та імовірною кореляцією зі сейсмічними подіями. Розроблено інформаційну модель структурування польових та моніторингових даних, яка ґрунтується на поєднанні службової інформації з даними вимірювань у розробленому форматі, що забезпечило можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

*Ключові слова:* інформаційна технологія, геофізичні дослідження, експрес-аналіз електромагнітних даних, метод побудови моделі геоелектричного розрізу, моніторингові та польові спостереження.



## АННОТАЦИЯ

**Савкив Л.Г. Информационная технология экспресс-анализа данных геоэлектромагнитных наблюдений.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный университет «Львівська політехніка», Министерство образования и науки Украины, Львів, 2019.

В диссертационной работе решена актуальная научная задача – разработка информационной технологии экспресс-анализа данных для повышения эффективности геофизических исследований методом ЗСБ и методом естественного электрического поля (ЕЭП).

Разработана модель тренда временного ряда мониторинговых данных в виде полинома третьей степени, которая убирает шум, заполняет пропуски и позволяет получить и исследовать посуточную динамику ЕЭП в точке наблюдений. Усовершенствован метод построения модели геоэлектрического разреза в точке наблюдений, который за счет использования асимптотических формул к полевым данным, обеспечивает поддержку оперативного принятия решений о проведении дальнейших этапов наблюдений, сокращает время выполнения полевых работ и повышает достоверность исследований. Вследствие чего на основании построенной в текущей точке модели геоэлектрического разреза в полевых условиях и в режиме реального времени можно скорректировать расстояние к следующей точке или определить дополнительные. На основании интеграции аппарата описательной статистики и моделирования трендов временных рядов усовершенствован метод экспресс-анализа мониторинговых данных, который обеспечивает обнаружение временных диапазонов, вероятно связанных с сейсмическими событиями. Разработана информационная модель структурирования полевых и мониторинговых данных, базирующаяся на основании совмещения служебной информации и данных измерений в разработанном формате, что обеспечило возможность их дальнейшего анализа и визуализации.

*Ключевые слова:* информационная технология, геофизические исследования, экспресс-анализ электромагнитных данных, метод построения модели геоэлектрического разреза, мониторинговые и полевые наблюдения.

## ANNOTATION

**Savkiv L.G. Information technology for express analysis of geoelectromagnetic observation data.** – On the right of manuscript.

Thesis for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.13.06 – information technologies. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

An actual scientific problem, the development of information technology for express analysis of data is solved in the dissertation for increasing the efficiency of geophysical research by the transient electromagnetic and natural electric field methods.

In the first chapter, on the basis of the carried out analysis of the current state in scientific research regarding existing methods, models and tools, the task of study is defined, general attributes of the known technologies and examples of acquisition systems

for primary geophysical data are represented, the features of methods and approaches relating to the data processing and analysis are described, as well as questions for further solving are highlighted.

In the second chapter the features of permanent and in field geophysical studies are outlined, the classification of such studies is carried out, the used methods, procedures for recording and collection of such primary data and the formats for their visualization are described as well as a model for structuring that data of permanent and in field geophysical observations is developed also. The structuring is organized by providing meta-information in a character format, and the data itself in numerical one. Such a structuring of geophysical data enabled the possibility for their further analysis and visualization.

In the third chapter a model of the trend of time series for monitoring data, a method for express analysis of them, visualization algorithms and a method for constructing a geoelectric cross section model are developed. The model of the time series trend was represented in the form of a polynomial of the third degree. This provides to remove the noise influence, to fill the data gaps and allows to show and study the daily dynamics of the natural electric field at the observation point. On the base of descriptive statistics and the simulation of time series trends, a method for express analysis of monitoring data was developed, which allows to detect the time bands with irregular behavior of the natural electrical field and possible correlation with seismic events. The method of constructing a geoelectric cross-section model has been further developed, which, by application the asymptotic formulas to the experimental data, provides the support for express decision-making on further measurement steps, reduces fieldwork time, and improves research reliability.

In the fourth section, a structural and functional model of information technology of express analysis of geoelectromagnetic observation data, a structure of an automated system of express data analysis that implements information technology and its software and algorithms are developed. The structure of the automated system consists of 4 subsystems: transmitting (measuring, in field), receiving, processing and analysis subsystem, as well as access, presentation and visualization ones. The developed hardware and software complex combines in an alone system different data sets of monitoring and field observations, guarantees simultaneous reception-transmission, storage and access to each of them, as well as in one holistic structure covers the whole process of research, from registration and collection of primary information and ending with the formation of archives, visualization of the data obtained and graphical representation of the results of their processing and analysis.

*Key words:* information technology, geophysical research, express analysis of electromagnetic data, geoelectric cross-section model construction method, monitoring and field observations.

Підписано до друку 29.10.2019 р.  
Формат 60×90/16. Папір офсетний.  
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 0,89  
Тираж 120 прим.

Видавництво Тараса Сороки  
79026, м. Львів, вул. Володимира Великого, 2  
Свідоцтво державного реєстру: серія ЛВ №17

Надруковано:  
ФОП Сорока Т.Б.