

КАРПАТСЬКЕ ВІДДІЛЕННЯ ІНСТИТУТУ ГЕОФІЗИКИ
ІМ.С.І.СУББОТІНА
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Савків Лідія Григорівна



УДК 004.6

ДИСЕРТАЦІЯ

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

05.13.06 – інформаційні технології
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Л.Г.Савків

Науковий керівник – Ладанівський Борис Теодорович, кандидат фізико-
математичних наук, старший науковий співробітник

Львів – 2019

АНОТАЦІЯ

Савків Л.Г. Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень. – Кваліфікаційна наукова праця 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.

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

Захист відбудеться у спеціалізованій раді Національного університету «Львівська політехніка», Львів, 2019.

Дисертація присвячена розробленню інформаційної технології експрес-аналізу даних для підвищення ефективності геофізичних досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та методом природного електричного поля.

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 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.

Загалом, проведений аналіз показав, що: на сьогодні не існує єдиної методики постійних моніторингових досліджень окремих регіонів, оскільки кожна область специфічна і потребує унікальних підходів та методів щодо спостережень, аналізу та опрацювання таких даних; невирішеними є питання експрес-аналізу первинних польових даних електромагнітних досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні; відсутня загальна технологія швидкої та оперативної обробки результатів геоелектромагнітних спостережень.

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.

Структурування первинних геофізичних даних методами природного електричного поля та зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні відбувається шляхом поєднання службової інформації з даними вимірювань у розробленому форматі. Представлення геофізичних даних у такому вигляді 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.

Функцією для апроксимації моніторингових даних природного електричного поля обрано поліном третього степеня, модель тренду часового ряду моніторингових даних представлена у формі поліному третього степеня. Це забезпечує усунення шуму, заповнення пропущених даних та дає змогу подати і дослідити подобову динаміку природного електричного поля в точці спостережень. За рахунок інтеграції апарату описової статистики та моделювання трендів часових рядів удосконалено метод експрес-аналізу

моніторингових даних природного електричного поля, що дає змогу виявити часові діапазони з нетиповим характером поведінки природного електричного поля та імовірною кореляцією зі сейсмічними подіями.

Удосконалено метод побудови моделі геоелектричного розрізу в точці спостережень, що забезпечує підтримку оперативного прийняття рішень про проведення подальших етапів вимірювань, зменшує час виконання польових робіт та підвищує достовірність досліджень. Суть запропонованого 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 питомого електричного опору. 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 точки спостережень.

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

Структура автоматизованої системи складається з чотирьох підсистем: передавальної (вимірювальної, польової), приймальної, підсистеми опрацювання та аналізу, а також доступу, представлення та візуалізації.

Для організації безпечного прийому-передачі даних, належної захищеності інформації та забезпечення максимальної економії ресурсів системи обрано таку конфігурацію FTP, при якій в роботі використовуються лише віртуальні користувачі, їхні облікові записи зберігаються в СУБД MySQL, для кожного користувача задається своя конфігурація, необхідні

налаштування, права доступу, робота з FTP відбувається через авторизований вхід.

Рух інформаційних потоків на FTP-сервері організовано так: в середовищі FTP для прийому даних геофізичних спостережень створено відповідні директорії, куди скеровуються файли з даними; прийом даних організовано таким чином, що кожен прилад передачі має доступ до відведеної лише для нього директорії; для маніпуляцій з окремими групами даних виділено окремі групи користувачів.

Група користувачів – це, як правило, по два: один користувач: має обмежені права, від його імені дані з FTP можна лише зчитати, це користувачі для зчитування даних своїх директорій; другий користувач: має максимальні права на доступ, від його імені можна записувати дані на FTP, редагувати, знищувати.

Програмне забезпечення АС розроблене з використанням середовищ програмування Python та Octave, є кросплатформовим і не залежить від використовуваної операційної системи чи програмного забезпечення, встановленого на клієнтській машині користувача. Для побудови графічних інтерфейсів застосовувалися технології: HTML, CGI, SSI, JavaScript, DHTML, CSS.

Розроблений апаратно-програмний комплекс поєднує в єдиній системі різноманітні групи даних моніторингових та польових спостережень, 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 опрацювання та аналізу.

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

ANNOTATION

Savkiv L.G. Information technology for express analysis of geoelectromagnetic observation data. – Qualification scientific work on the rights of the 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.

Preparation was carried out at the Geoelectromagnetic Methods Department of Carpathian Branch of S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine.

Thesis defense is to be held under the session of a specialized board of Lviv Polytechnic National University, 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.

The actuality of the subject of the dissertation has been proved in the introduction of the scientific work. The aim and the main tasks of the investigation have been formulated. The scientific novelty and the practical implementation of the obtained results have been defined. The connection between research topics has been demonstrated. Information about results evaluation, the author's personal contribution and his publications has been presented.

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 general, the analysis showed that: there is not currently a single methodology for continuous monitoring of particular region, as each area is specific and requires unique approaches and methods for observing, analyzing and processing such data; the issues of express analysis of the primary field data of electromagnetic research by the transient electromagnetic method has not been resolved; there is not general technology for rapid and prompt processing of the geoelectromagnetic observation data.

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 of primary geophysical data of the natural electric field method and transient electromagnetic one is organized by combining supplementary meta information with measured data in a developed format. 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 third-order polynomial was chosen as the function for the monitoring data approximation appropriately 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 provides the support for express decision-making on further measurement steps, reduces fieldwork time, and improves research reliability.

The core of the proposed method is that the parameters of the model of the geoelectric cross section are obtained from the apparent resistivity values, obtained by known asymptotic formulas, using the first and second derivatives of experimental curves. As a result, based on the cross section model for current observation point the distance to the next observation point can be adjusted as well as additional ones can be defined.

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.

For the organizing the secure data transmission, proper information security and maximum savings of system resources, such an FTP configuration is used, in which only virtual users are used, their accounts are stored in MySQL DBMS, for each user an individual configuration of required settings and access rights are defined, the access to FTP is realized through authorized login.

The information stream on the FTP server is organized as follows: in the FTP environment for receiving of geophysical observation data appropriate directories are created, into which the data files are stored; the reception of data is organized in such a way that each transmission device has access to the directory reserved for it only; particular user groups are dedicated to manipulating certain data groups.

A user group typically consists two users: first one has limited rights for reading data from FTP, they are the users for reading data of particular directory;

second user has maximum access rights for writing, editing and deleting the particular data.

The software of information technology is developed using Python and Octave programming environments. It is cross-platform and does not depend on the operating system or other software installed on the user's client computer. The graphical interfaces were created using the following technologies: HTML, CGI, SSI, JavaScript, DHTML, CSS.

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.

Список публікацій здобувачки 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.Мищишин // 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: 2nd 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. Верхнє 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 зондуючих 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.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	16
ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	26
1.1. Загальна характеристика установ геофізичного спрямування, основні задачі та стратегії розв'язання	26
1.2. Аналіз методів і засобів для опрацювання даних дистанційних геофізичних спостережень	28
1.3. Характеристика локальних електромагнітних досліджень	31
1.4. Аналіз методів, алгоритмів збору та опрацювання даних постійних локальних електромагнітних спостережень	32
1.5. Характеристика польових електромагнітних спостережень, просторово-часові особливості даних електромагнітних спостережень, огляд методів опрацювання та аналізу даних електромагнітних спостережень	37
Висновки до розділу 1	42
РОЗДІЛ 2. ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРУВАННЯ ПОЛЬОВИХ ТА МОНІТОРИНГОВИХ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ, ЇХ ІНФОРМАЦІЙНО-СИСТЕМНЕ ТРАКТУВАННЯ	44
2.1. Постійні дослідження	44
2.1.1. Класифікація параметричних і структурних ознак постійних досліджень	45
2.1.2. Процедура проведення постійних досліджень методом природного електричного поля	46
2.1.3. Реєстрація та збір первинних даних часових	

розподілів, які постійно фіксуються у річному циклі	49
2.1.4. Опис формату представлення первинних даних часових розподілів природного електричного поля	50
2.1.5. Інформаційна модель та алгоритм структурування даних природного електричного поля	54
2.2. Польові дослідження	55
2.2.1. Класифікація параметричних і структурних ознак польових досліджень	57
2.2.2. Процедура проведення польових досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні	58
2.2.3. Реєстрація та збір первинних даних просторово-часових розподілів, що фіксуються при польових дослідженнях	66
2.2.4. Опис способу представлення просторово-часового формату первинних даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні	68
2.2.5. Інформаційна модель структурування та вибір інформаційних ознак для даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні	70
Висновки до розділу 2	71
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	72
3.1. Модель тренду часового ряду моніторингових даних природного електричного поля та метод їх експрес-аналізу ..	72
3.2. Розроблення алгоритмів та програмних засобів візуалізації польових даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні	86
3.3. Класичне опрацювання та інтерпретація даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній	

зоні та їх недоліки	92
3.4. Формальна інтерпретація даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні з представленням в часових розподілах	94
3.5. Метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними польових вимірювань методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні	98
Висновки до розділу 3	108
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	109
4.1. Структурно-функціональна модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень	109
4.2. Вимоги до автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень	110
4.3. Складові структури автоматизованої системи	112
4.3.1. Передавальна (вимірювальна, польова) підсистема	113
4.3.2. Приймальна підсистема	116
4.3.3. Підсистема опрацювання та аналізу	120
4.3.4. Підсистема доступу, представлення та візуалізації	120
4.4. Технічне та програмне забезпечення автоматизованої системи	122
4.5. Алгоритм функціонування автоматизованої системи	123
4.5.1. Організація процедур збору, прийому-передачі та зберігання даних постійних геофізичних спостережень ..	124
4.5.2. Організація процедур збору, прийому-передачі та зберігання даних польових геофізичних спостережень ..	126
4.6. Функціональне призначення автоматизованої системи ...	130
4.7. Особливості застосування автоматизованої системи	131

Висновки до розділу 4	133
ВИСНОВКИ	134
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	137
ДОДАТКИ	153
Додаток А. Зареєстровані значення природного електричного поля з 5-хвилинним інтервалом за липень 2017 року	153
Додаток Б. Подобова динаміка показників природного електричного поля, зареєстрованого на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище" у липні 2017 року	154
Додаток В. Апроксимовані тренди подобових даних природного електричного поля з РГС "Нижнє Селище" за місяць липень 2017 року (01.07.2017р. – 31.07.2017р.)	155
Додаток Г. Результати апроксимації даних для одного місяця подобово	156
Додаток Д. Результати розрахунку показників описової статистики	157
Додаток Е. Усереднені дані перехідних процесів методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні, отримані на профілі вздовж дамби Стебницького родовища калійних солей	158
Додаток Є. Опис алгоритму роботи програмного модуля візуалізації	159
Додаток Ж. Список публікацій здобувачки за темою дисертації	160
Додаток З. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження	163

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ЗСБ	– зондування становленням електромагнітного поля в
ТЕМ, TDEM	ближній зоні
ПЕП	– природне електричне поле
ПЗ	– програмне забезпечення
АС	– автоматизована система
СУБД	– система управління базами даних
РГС	– режимна геофізична станція
ПК	– пікет
ЕРС	– електрорушійна сила
ОС	– операційна система
ЛОМ	– локальна обчислювальна мережа

ВСТУП

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, M.N.Nabighian, J.C.Masnae, G.V.Keller, В.А.Сідоров, В.В.Тікшаєв, Л.Л.Ваньян, Ф.М.Каменецький, К.N.Kappler, H.F.Morrison, A.Ramirez-Rojas, G.Colangelo, V.Lapenna, S.Uyeda, T.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 еконебезпечних 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 подову 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 10x10–30x30 м і до 50% при використанні петель розміром 250x250–500x500 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.

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД МЕТОДІВ, МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

У першому розділі 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.

1.1. Загальна характеристика установ геофізичного спрямування, основні задачі та стратегії розв'язання

Існує багато установ, організацій, консорціумів геологічного, екологічного спрямування, що займаються геофізичними дослідженнями і працюють з геофізичними даними в режимі реального масштабу часу. Сайти цих організацій забезпечують постійний on-line доступ до даних, а також надають низку допоміжних сервісів та послуг. Серед таких всесвітньо відомих установ є: 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.

Окреме місце з-поміж згаданих установ займають організації, що спеціалізуються на роботі зі сейсмічними даними. Багато розробок у цьому напрямку ведуться як закордоном, так і в Україні, створюються цілі мережі для досліджень сейсмічності тих чи інших територій, організовуються

міжнародні та міжнаціональні сейсмологічні центри, формуються регіональні центри сейсмологічної інформації, працюють автоматизовані системи (АС) збору та зберігання, Національні центри за урядовими програмами. До таких організацій можна віднести: 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).

У нашій країні, з огляду на те, що велика частина території є сейсмонебезпечною, особливо райони Закарпаття та Криму, питаннями моніторингу та дослідженнями сейсмічності займаються доволі інтенсивно: створена національна мережа сейсмічних спостережень, працюють системи збору, обробки та зберігання сейсмічної інформації, вдосконалюються наявні та організовуються регіональні бази і банки сейсмологічних даних. Вивчення і дослідження проблем геодинаміки і сейсмічності було і є дотепер одним з основних наукових напрямків Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна Національної академії наук України, зокрема ґрунтовно цими питаннями займаються у відділах сейсмічної небезпеки та сейсмічності Карпатського регіону. Методи організації сейсмологічних спостережень, формування баз сейсмоданих, їх зберігання і доступу висвітлюються у роботах вітчизняних науковців: член-кореспондента НАН України Кендзери А.В., Дядюри В.А., Михайлика І.Ю., Ганієва О.З. Особливої уваги заслуговують і наукові праці, і практичні доробки українського сейсмолога-геофізика Ю.Т.Вербицького, які стосуються інформаційних технологій в царині опрацювання сейсмічних даних.

Сайти згаданих 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.

1.2. Аналіз методів і засобів для опрацювання даних дистанційних геофізичних спостережень

Дистанційні спостереження, автоматичний прийом-передача даних в поєднанні з цифровими вимірювальними приладами ефективно використовуються сьогодні при організації геофізичних досліджень різного спрямування. 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.

Так, згадані принципи стали основою при створенні сучасної Карпатської регіональної сейсмологічної мережі [1, 2], підрозділу збору і нагромадження інформації Національного центру сейсмологічних даних України [3], комплексного банку геофізичної інформації Карпатського регіону [4].

Використання інформаційних технологій для роботи з сейсмічними даними здебільшого є часткове: при розробці спеціалізованої цифрової системи збирання сейсмічної інформації для служби спеціального контролю Національної космічної агенції України [5], при організації та облаштуванні пункту сейсмічних спостережень з автоматичною реєстрацією та передачею даних в реальному часі на острові Зміїний [6], при створенні систем сейсмічного моніторингу локальних інженерних споруд, важливих енергетичних та екологічно небезпечних промислових об'єктів [7-9].

Ще один приклад – робота трирівневої автоматизованої системи сейсмічних спостережень [10]. Структура апаратно-програмної забезпечення цієї системи передбачає залучення великої кількості серверів, використання різних каналів і ліній зв'язку, передбачений прийом даних з різних цифрових реєстраторів. Серед усього іншого використовуються і: система управління базами даних (СУБД) MySQL, компілятор мови C++, інтерпретатор мови PHP, низка сервісних програм, а також окремий Інтернет-сайт, де міститься довідкова інформація про сейсмостанції, Національний та регіональні центри збору даних і є можливість оформити запит-форму для отримання необхідної сейсмічної інформації.

Подібним прикладом є автоматизована система збору і нагромадження сейсмоданих, де функціонально пов'язані між собою регіональні сейсмологічні центри, Національний центр сейсмологічних даних та автоматичні пункти сеймоспостережень [11]. Система забезпечує безперервні спостереження, реєстрацію даних, формування сейсмологічних баз даних та архівів. В залежності від середовища передачі даних для організації зв'язку між складовим частинами мережі передбачене застосування різних типів каналів зв'язку. Доступ користувача до баз сейсмологічної інформації організований через WEB-інтерфейс з використанням протоколу файлового обміну FTP.

Описані принципи використані також на Web-сайтах таких відомих організацій як: глобальна мережа обсерваторій INTERMAGNET, котрі постійно моніторять магнітне поле Землі, тут можна почерпнути дані та іншу інформацію з геомагнітних обсерваторій всього світу [12, 13], Геологічна служба США) [14], Національні Центри Екологічної Інформації (NCEI) (знаходиться в м.Ашвілл, Північна Кароліна, США) – це найбільший у світі діючий архів з інформацією про довкілля, забезпечує доступ до різноманітних океанічних, атмосферних та геофізичних даних [15, 16], Міжнародний консорціум сейсмологічних Інститутів (Incorporated Research Institutions for Seismology IRIS, США) – світова система сейсмологічного

моніторингу, надає великий спектр інструментів і сервісів для роботи з даними сейсмічного, магнітотелуричного походження [17, 18].

Нині фізичні поля збираються та реєструються здебільшого автоматично, шляхом створення і поповнення різноманітних баз геофізичної інформації. За даними регулярних і багаторічних спостережень можна оцінювати та аналізувати параметри полів та їх характеристики, вивчати динаміку змін протягом тривалого періоду часу, контролювати критично-важливі показники. Зазвичай подібні дослідження забезпечують міжнародні мережі, світові та національні центри, консорціуми, геологічні, екологічні та інші служби, об'єднання, агентства. Згадані установи, oprіч різних видів інформації, працюють, зокрема, і з даними геомагнітними, сейсмічними, магнітотелуричними, формують відповідні архіви, бази і банки даних, подають візуальне представлення таких даних в режимі on-line і, крім того, надають повний, частковий чи спеціалізований доступ до них.

Системи і мережі світового рівня, їх улаштування, структура, принцип і вимоги до роботи висвітлюються дуже добре.

Огляд літературних джерел засвідчив, що на сьогодні з-поміж усіх геофізичних даних найкращим чином стандартизовані та структуровані сейсмічні дані. Для них розроблені спеціальні формати представлення, що набули практично міжнародне значення: вони застосовуються при обміні інформацією між різними сейсмологічними станціями, мережами, світовими сейсмічними установами. Це такі знані формати як: GSE, CSS, SEED, miniSEED [19-24].

Для електромагнітних даних наразі такої визначеності немає. Мало того, немає жодних стандартів, ГОСТів чи методик стосовно реєстрації, збору та форматів представлення геоелектромагнітної інформації. Крім того, відсутні найпростіші чи узагальнені рекомендації або правила з цього приводу.

Проте, такий стан справ в електророзвідці достатньо виправданий, бо має вагомi підстави та об'єктивні причини. Суть їх полягає у наступному [25,

26, 27]:

- 1) велика кількість методів досліджень та їх модифікацій – понад 50;
- 2) використання різних фізичних властивостей гірських порід: питомий електричний опір, проникності магнітна та діелектрична, поляризованість, електрохімічна активність;
- 3) реєстрація фізичних полів з різним походженням: природне електромагнітне поле та поля, що створюються штучними джерелами (постійне електричне поле штучних джерел, поле однополярного, різнополярних точкових джерел, тощо);
- 4) фіксація електромагнітних полів у різних пунктах спостережень: на поверхні землі, під землею, в повітрі, на водних акваторіях;
- 5) виробники електромагнітного устаткування разом зі своїми приладами пропонують також власні варіанти реєстрації та свої формати для запису первинних даних, доступ до структури яких, як правило, практично відсутній [28-35].

1.3. Характеристика локальних електромагнітних досліджень

Поряд з такими масштабними вивченнями світового рівня та міжнародного значення, значний інтерес в царині геофізики, а також практичне застосування, мають і локальні дослідження окремих регіонів чи площ електромагнітними методами. Вони можуть бути організовані як систематичні наукові дослідження у вигляді режимних геофізичних спостережень чи безперервного моніторингу або ж як періодичні вивчення окремих територій чи ділянок. Кожен з таких напрямків надає важливу первинну інформацію для подальшого вивчення фізичних процесів і явищ, особливо, коли це стосується сейсмоактивних чи екологічно-небезпечних зон.

Об'єктами локальних електромагнітних досліджень можуть виступати: сейсмоактивні зони, земляні греблі і дамби, шахтні поля рудників, відпрацьовані родовища, борти кар'єрів, підземні шахти, дамби хвостосховищ, прилеглі до них території, екологічно-проблемні території гірничопромислових агломерацій, а також інженерно-геологічні об'єкти промислового та цивільного характеру: автодороги, будівлі, школи, майданчики будівництва.

Такі локальні дослідження корисні тим, що дозволяють глибше, точніше і детальніше вивчати конкретний регіон, досліджувати локальні зміни чи особливості, характерні саме для цієї області. Окрім цього, такі відомості можуть слугувати важливою допоміжною, додатковою, доповнювальною інформацією при обробці та аналізі глобальних геофізичних даних. Свідченням того є відповідні роботи, що проводяться у цьому напрямку в рамках міжнародного європейського наукового проекту EPOS (European Plate Observing System), де передбачається організація інтегрованої системи збору геофізичної інформації з найрізноманітніших пунктів спостережень і на їх основі формування відповідних баз даних з можливістю доступу зокрема і до даних електромагнітних спостережень в режимі on-line [36].

1.4. Аналіз методів, алгоритмів збору та опрацювання даних постійних локальних електромагнітних спостережень

Організація постійних локальних електромагнітних спостережень і питання збору та опрацювання такого типу даних регіонального характеру на сьогодні у доступних вітчизняних літературних джерелах висвітлені вкрай мало, значно більше публікацій з цього приводу, а також і технологічні, і наукові напрацювання в даному напрямку є у закордонних виданнях.

Цікавою стосовно методів збирання та передавання інформації є робота

[37], де описано метод збору і передачі первинних геофізичних даних з використанням мереж стільникового зв'язку GSM. Розроблений прилад забезпечує передачу інформації за кількома протоколами (HTTP, SMTP, FTP). Для налаштування пристрою розроблена спеціальна сервісна програма, що дозволяє задавати режими роботи, виставляти часові параметри, зчитувати поточні значення системних змінних та блоки даних. Випробований і протестований варіант передачі даних в автоматичному режимі на поштовий сервер відповідно до протоколу SMTP.

Не менш цікавою є і робота [38], де зачіпаються способи організації нової геоелектричної системи моніторингу на магнітній обсерваторії Боулдер Геологічної служби США, дані якої планується використати для тестування та перевірки алгоритмів відображення північноамериканських геоелектричних полів.

Окремої уваги заслуговують ті праці, де обговорюються питання опрацювання та аналізу геофізичних даних. Вивчення та огляд наукових публікацій, де обговорюються методи аналізу таких даних, показало, що для різних методів досліджень використовуються різні методики опрацювання отриманих даних. Часто-густо для попереднього аналізу первинної інформації використовують статистичні методи [39-41]. Окремий інтерес складають методи опрацювання даних геоелектромагнітних спостережень, що проводяться з метою виявлення і вивчення провісників землетрусів. Встановлено, що перед землетрусом поведінка природного електричного поля змінюється, тому його вивчення та аналіз має велике значення. Здебільшого такі проблеми особливо активно і досліджуються, і обговорюються, і висвітлюються фахівцями тих країн, де є висока сейсмічна небезпека: США, Мексика, Італія, Греція, Індонезія, Японія, ін. Дослідники та науковці згаданих країн займаються подібними питаннями вже тривалий час, з цього приводу є чимало публікацій, проблемам роботи з даними геоелектромагнітних спостережень присвячені роботи R.F.Corwin, H.F.Morrison [42], M.J.S.Johnston [43], K.N.Kappler, G.D.Egbert, L.Flores-

Marquez, J.Marquez-Cruz, A.Ramirez-Rojas, G.Galvez-Coyt, F.Angulo-Brown [44, 41], G.Colangelo, V.Lapenna, L.Telesca [45], P.Varotsos, K.Alexopoulos [46, 47], D.S.Widarto, E.M.Arsadi, N.T.Puspito, S.Uyeda, T.Nagao [48-50], B.Shirman, A.Shapira [51].

Так, до прикладу, у роботі [45] йдеться про організацію мережі геофізичного моніторингу у сейсмічних районах південної Італії. Мережа здатна виявляти геоелектричні, геохімічні та сейсмометричні параметри у досліджуваних регіонах. У статті детально описано конфігурацію, схеми розташування вертикальних і горизонтальних диполів, тип і маркування використовуваних електродів, принцип дії та зберігання даних на станції Тіто. Такий прототип вимірювань був встановлений на 6 тестових точках спостережень Південного Апеннінського ланцюга і за останні роки за інформацією з цих спостережень була організована велика база даних геофізичних часових рядів, що доступна і може бути використана при оцінці статистичних методик визначення геофізичних аномальних закономірностей, пов'язаних з локальною сейсмічністю. Окрім цього, в статті наведений приклад можливої кореляції між електричними аномаліями і місцевими землетрусами. Проте, для формування однозначних висновків потрібні довші серії записів спостережень.

Аналогічні роботи щодо досліджень природного електричного поля проводились і проводяться у багатьох інших країнах світу: США, Індонезія, Греція, Японія, Мексика. Для того, щоб краще розуміти електромагнітні явища, пов'язані з сейсмогенними процесами, Інститут фізико-хімічних досліджень (RIKEN) Японії запровадив Міжнародну прикордонну програму з дослідження землетрусів і розпочав моніторинг змін електричного поля. За цією програмою була розгорнута система спостережень приблизно у 30 пунктах Японії та у 5 точках на півдні Суматри, Індонезія, досліджувалися зміни електричного поля та вивчалися взаємозв'язки між такими змінами та появою землетрусів [48]. Про можливі провісники землетрусів у Японії та важливі аспекти подальших досліджень викладені у роботах S.Uyeda,

T.Nagao, Y.Orihara, T.Yamaguchi, I.Takahashi, Y.Enomoto, A.Tsutsumi, Y.Fujinawa, M.Kasahara, H.Hashimoto [49, 50, 52].

Цікавими є результати грецьких науковців P.Varotsos, K.Alexopoulos, K.Nomicos, котрі займалися вивченням поведінки природного електричного поля за даними 18 станцій в Греції, і запропонували свій підхід для пошуку сейсмічних провісників, опираючись на припущенні, що перед сильними землетрусами відбуваються аномальні зміни природного електричного поля. Ці зміни назвали сейсмоелектричними сигналами, а групу дослідників - VAN [46, 47]. Хоч і передбачення VAN були підтверджені і документально зафіксовані (для 23 землетрусів силою ≥ 5.0 лише 2 події були пропущені), проте він і дотепер вважається суперечливим і не є абсолютно універсальним та однозначним (оскільки ще залишилися відкритими питання, пов'язані SEC-ефектами) [49, 53]. З огляду на це, фахівці-дослідники часто використовують та беруть до уваги і VAN-метод і разом з тим паралельно розробляють свої методики.

Так, вивчаючи електричне та магнітне поле в районі Parkfield, штат Каліфорнія (США) автори у своїй роботі [44] проаналізували дані за період 2002-2005 роки для того, щоб виявити імовірні ефекти і визначити чи були перед землетрусом аномальні зміни фізичних полів. Результати досліджень показали, що жодних електромагнітних ефектів, які б можна було б сприймати як провісники землетрусу у Parkfield знайдено не було. Натомість однозначно було заявлено, що для надійного вирішення зазначених питань вкрай необхідним є ретельний довготривалий моніторинг з використанням стабільної і добре відкаліброваної апаратури.

Цікавою роботою у напрямку вивчення поведінки природного електричного поля є стаття R.F.Corwin та H.F.Morrison [42], де автори описують 2 випадки аномальних змін горизонтального електричного поля Землі, що були зафіксовані перед землетрусами в центральній Каліфорнії. Першою була аномалія амплітуди, що зареєстрована за 55 днів до події із силою 5, другою – за 110 годин до події із силою 2.4 .

Подібні дослідження у Мексиці мають свої результати. Їх суть полягає у тому, що очікувані перед землетрусом сигнали СЕС виявлені не були [41], хоча поява броунівського шуму і зміна звичної поведінки системи зафіксовані були. У роботі [54], де досліджувалися зміни електричного поля, зареєстрованого на електросейсмічній станції на тихоокеанському узбережжі Мексики, автори показують, що в цілому аналізований часовий ряд демонструє стійку поведінку за 4 місяці до і 1 - після події. Для вивчення цієї та деяких інших подій використовувалося спектральне і мультифрактальне дослідження природного поля, глобальний аналіз часових рядів, елементи статистичного аналізу [54, 55].

Таким чином, 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 Стюдента, 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.

1.5. Характеристика польових електромагнітних спостережень, просторово-часові особливості даних електромагнітних спостережень, огляд методів опрацювання та аналізу даних електромагнітних спостережень

Прикладні електромагнітні дослідження проводяться в полі з метою дослідження певної ділянки, території чи області методами розвідувальної електророзвідки. Такі роботи можуть проводитись як вздовж профілю, так і на окремій площі для виявлення, дослідження чи прогнозування таких небезпечних геодинамічних явищ як зсуви, карстові процеси, руйнування гребель водо- та хвостосховищ, а також розв'язку низки прикладних задач, тощо. Незалежно від характеру проведення спостережень, профільні це чи площинні, предметом досліджень є природні або штучні фізичні поля, а об'єктами досліджень виступають: елементи соціальної інфраструктури (школи, навчально-виховні комплекси, автодороги, майданчики будівництва), дамби, відпрацьовані шахти, екологічно-проблемні території.

Для описаних вище завдань характерним є невелика глибина досліджень (сотні метрів), тому для приповерхневих вивчень верхньої частини геологічного розрізу використовують, зокрема, і метод зондування становленням електромагнітного поля у ближній зоні (скорочено ЗСБ або ще: TEM – Transient electromagnetic sounding, TDEM – Time-domain electromagnetic sounding). Метод часто застосовується при розв'язанні задач структурно-пошукового, інженерно-геологічного та гідрогеологічного спрямування. Він дозволяє з достатньо високою роздільною здатністю визначати електричні параметри середовища та літологічний склад порід, виявляти структурні та тектонічні особливості геологічного середовища на відносно невеликих глибинах.

Питання теорії, організації та проведення подібних досліджень висвітлені як у закордонних, так і вітчизняних наукових роботах. Автори детально описують: суть методу [56, 57], принципи [58, 25, 59], фізичні

основи [60, 61], практичне застосування [25, 62-70].

Для того, щоб мати вичерпні відомості, повніші та точніші дані у пункті спостережень спеціалісти-геофізики намагаються зібрати якомога більше первинних даних, провести повторні, а деколи – і контрольні виміри. Мало того, задля якісного результату в обробці чи інтерпретації таких даних, а також підвищення їх інформативності часто-густо фахівці вдаються у своїй практиці до поєднання кількох геофізичних методів досліджень [25, 71]. Внаслідок цього розширюється коло досліджуваних параметрів, значно зростають об'єми первинної інформації, а це в свою чергу значно покращує надійність та достовірність результатів обробки.

До прикладу, при виконанні польових геофізичних досліджень спеціалісти використовують у своїй практиці не лише методи електророзвідки (ПЕП, ЗСБ, МТЗ, ПЕМПЗ), а й магніторозвідки, сейсморозвідки. За певних умов згадані методи часто комбінуються. При цьому вимірювання проводяться найрізноманітнішими приладами та апаратурою [65, 72, 71]. Так, для приповерхневих досліджень застосовується "Стадія", глибинних - "Імпульс", також: РХІНДС, магнітометри, станції МТЗ та інше.

При проведенні подібних робіт значно ускладнюється вимірювальний процес, оскільки на пунктах спостережень для різних методик розгортаються різні схеми установок, задіюється різне технологічне обладнання, залучаються різні групи спеціалістів. Як наслідок, ми отримуємо різні за типом та природою дані досліджень, великі об'єми первинної інформації [73].

Остаточні висновки щодо досліджуваної території формуються на основі розширеного і поетапного аналізу, детальної обробки та інтерпретації польового матеріалу. Однак, для швидкої оцінки геодинамічної ситуації, особливо на поточній точці спостережень, важливим є експрес-аналіз первинних геофізичних даних.

Результатом профільних чи площинних електророзвідувальних спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля у ближній зоні джерела поля є реєстрація перехідних процесів [67, 58, 59, 74]. Отримані інформаційні сигнали трансформуються у параметри середовища – електропровідність, глибина, позірний електричний опір, значення яких у подальшому використовуються для побудови геоелектричних розрізів, що характеризують геологічну будову та структурні особливості досліджуваного регіону [25, 27, 75]. Така обробка та інтерпретація потребує чималих затрат часу і зусиль кваліфікованих спеціалістів, а також – відповідної потужної обчислювальної техніки. Проте доволі часто буває так, що потрібно оперативно оцінити геодинамічну ситуацію за даними спостережень, тобто виникає потреба отримати спрощені геоелектричні розрізи. Насамперед це є актуальним в полі – в ході таких польових досліджень часто виникають ситуації, коли необхідно якнайшвидше, іноді - практично у реальному масштабі часу:

- 1) візуально оцінити 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 (повторити, провести контрольні вимірювання або ж переміряти зі зміненими параметрами (геометрія установки, налаштування приладу, зміщення у просторі для усунення/зменшення впливу завад на вимір і т.д.), щоб отримати максимально якісний результат вимірювань на поточній точці спостережень);
- 2) візуально, наочно проаналізувати шари у структурі геосередовища, отримати модель і на основі цього скоригувати відстань до наступної точки спостережень або визначити додаткові точки спостережень.

В залежності від геометрії досліджуваної території, вимірювання можуть проводитись або вздовж профілю, або охоплювати певну площу. Точки спостережень (підмети ПК) при цьому прокладають з однаковим

розрахунковим кроком b , c (рис.1.1), виміри відбуваються послідовно точка за точкою по кожнім з профілів.

Якщо геодинамічна ситуація на сусідніх чи попередніх пікетах дослідження була незмінна, доцільним є відстань до наступної точки збільшити. Якщо ж параметри геологічного середовища (питомий електричний опір, глибина) вже помітно змінилися, або принаймні появились така тенденція, крок подальших вимірів варто зменшити, причому, можливо, і доречним буде повернутися до попереднього пікету з меншим кроком для уточнення і деталізації геологічної ситуації на цій точці.

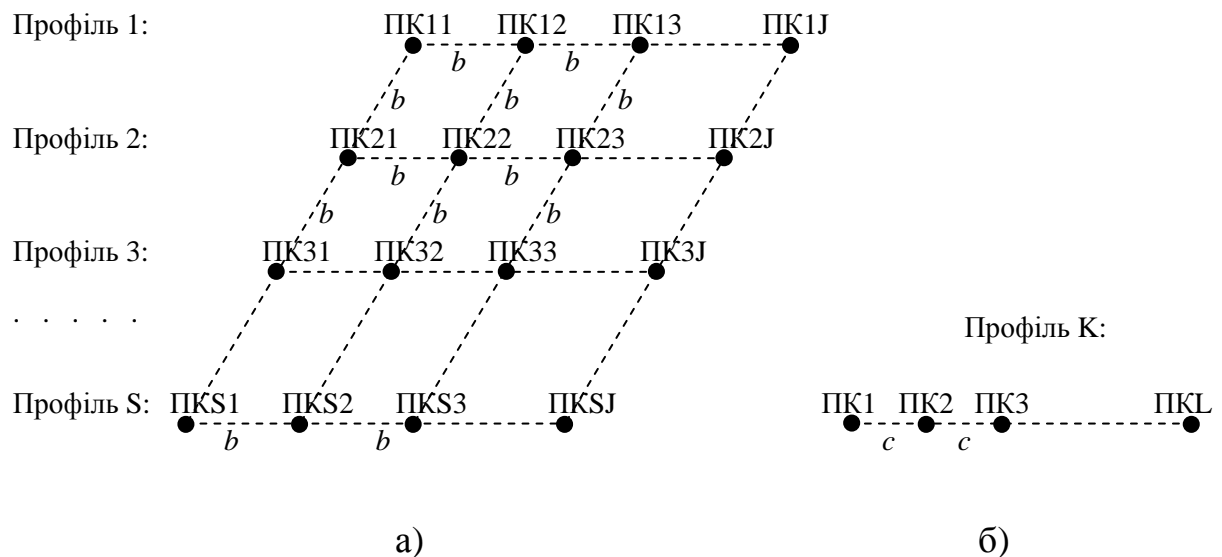


Рисунок 1.1 – Схема розташування пікетів при: а – площинних та б – профільних дослідженнях; b , c – крок між точками спостережень

Таким чином, змінюючи ще в процесі вимірів схему розташування пікетів від теоретичного регулярно-розрахункового до реального ситуативного, отримуємо можливість завжди мати максимально точні та правдиві дані вздовж профілю, а за окремих умов, коли петлі мають довжину 100 м і більше, такий підхід ще й і суттєво зменшить час проведення польових досліджень. Окрім цього, чим точнішими є результати польових вимірювань загалом, тим точнішою є обробка та інтерпретація даних, а разом

з тим – і самі геоелектричні розрізи досліджуваної території. З огляду на це побудова приблизної моделі геоелектричного розрізу за даними ЗСБ має важливе науково-прикладне значення та є актуальною задачею.

Класична інтерпретація польових даних методу ЗСБ 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, а також використання потужної обчислювальної техніки з відповідним математичним і програмним забезпеченням.

Загальні теоретичні засади, алгоритми і методики опрацювання та аналізу даних ЗСБ розглядали та описували такі фахівці як М. В. Рева, М. І. Толстой, Ю. В. Тимошин, А. В. Сухорада, L. W. Blau, J. R. Wait, M. N. Nabighian, J. C. Macnae, G. F. West, G. V. Keller, A. Gonzalez Carrasquilla, E. Ulugergerli, В. А. Сідоров, В. В. Тікшаєв, А. Н. Тіхонов, Л. Л. Ваньян, Ф. М. Камеєцькій, В.К.Хмєлєвської, Б.К.Матвєєв.

Викладені авторами у літературних джерелах методи описують процес обробки починаючи від ручної побудови на подвійних логарифмічних бланках кривих зондувань (із зареєстрованих імпульсів становлення поля), розрахунку узагальнених параметрів розрізу і підбору такої моделі геоелектричного розрізу, щоб теоретична та експериментальна криві співпали якнайкраще. Теперішні підходи також визнають та активно поєднують і візуальний аналіз, і ручні побудови, і використання сучасної обчислювальної техніки з відповідним математичним і програмним забезпеченням, розробляються свої методики трансформації інформаційних сигналів ЗСБ в параметри середовища [75, 74, 27, 25, 76, 77, 66, 78-88].

Окрім того, в мережі Інтернет відомі пропозиції щодо опрацювання даних ЗСБ і побудови моделі геоелектричного розрізу: є створені окремі

Web-сайти, де виробники геофізичної апаратури разом зі своїми приладами пропонують і своє спеціалізоване програмне забезпечення; є геофізичні фірми, що виконують подібні роботи та розробляють відповідні комерційні програмні продукти для обробки даних; є сайти, що здатні в деморежимі працювати з даними лише певних форматів чи приладів [30, 35, 34, 89, 90].

Запропоновані методики науковців-геофізиків здебільшого стосуються класичної обробки даних, вирішення певних окремих вузькоспеціалізованих завдань. Частково шляхи практичного аналізу експериментальних даних ЗСБ висвітили М. В. Рева, Т. В. Руденко, Н. С. Єгорова, Л. П. Андрієвська у роботі [76], де автори сформулювали загальні підходи щодо побудови структури геоелектричного розрізу на основі візуального аналізу кривих.

Характерним для згаданих робіт є те, що здебільшого в них описані загальні принципи щодо опрацювання, інтерпретації отриманих даних, запропоновані шляхи розв'язку конкретних задач, проте у жодній з них не висвітлені процедури експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень. З огляду на це питання оперативного аналізу та приблизної обробки геоелектромагнітних даних залишається актуальним дотепер.

Таким чином, загалом, проведений аналіз показав, що на сьогодні практично відсутня загальна інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, яка б в єдиній системі поєднувала різні групи даних, гарантувала 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 обробки та аналізу.

Висновки до розділу 1: 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, використання у цій ситуації "чужих" сайтів чи розробок не завжди є можливим і прийнятним, оскільки: а) у таких випадках 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, б) комерційні програмні продукти мають чималу вартість, в) обробка даних через відкриті Web-сайти можлива для даних лише окремих форматів або ж отриманих з конкретних геофізичних приладів; 3) відсутня загальна технологія швидкої та оперативної обробки результатів геоелектромагнітних спостережень. З огляду на це розробка інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень є вельми актуальною і на часі.

РОЗДІЛ 2.

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРУВАННЯ ПОЛЬОВИХ ТА МОНІТОРИНГОВИХ ДАНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ, ЇХ ІНФОРМАЦІЙНО-СИСТЕМНЕ ТРАКТУВАННЯ

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.

В залежності від того які фізичні процеси та явища досліджуються, геоелектромагнітні спостереження ведуться і на постійних пунктах чи об'єктах, і на територіях чи ділянках, географія розташування котрих може бути найрізноманітнішою. Відповідно, дані, зареєстровані в ході таких спостережень, можна розділити на дві групи досліджень [91]:

- постійні дослідження
- польові дослідження.

2.1. Постійні дослідження

Постійні дослідження як один з методів систематичного наукового вивчення фізичних полів мають свої характерні особливості, мету та специфіку проведення.

Постійні дослідження ведуться безперервно. Основною метою проведення таких досліджень є вивчення динаміки змін досліджуваних полів та встановлення кореляційних зв'язків з глибинною будовою, сейсмічністю, варіаціями геофізичних полів на конкретній точці чи пункті спостережень

протягом тривалого проміжку часу. Виходячи з цього, обов'язковими умовами постійних досліджень є те, що геофізичні вимірювання мають проводитись неперервно, а місця проведення вимірів мають бути постійні, тобто географічні координати точок чи пунктів спостережень повинні бути незмінні.

Такий режим роботи можуть гарантувати як режимні геофізичні станції (РГС), так і стаціонарні пункти спостережень.

Як правило, на РГС організуються постійні моніторингові спостереження різних геофізичних полів. Зазвичай для таких досліджень на станціях виділяються спеціальні приміщення, павільйони, зали, штольні, постаменти, встановлюється спеціалізоване геофізичне обладнання та вимірювальна апаратура. Комплекс технічних засобів РГС може забезпечувати реєстрацію фізичних полів будь-якої природи та походження. Це можуть бути дані: деформографічні, температурні, сейсмічні, магнітні, електричні, електромагнітні, магнітотелуричні, акустоемісійні, метеорологічні.

Окрім РГС, подібні вимірювання, проте значно менших потужностей та масштабів, можливі і на стаціонарних пунктах спостережень.

2.1.1. Класифікація параметричних і структурних ознак постійних досліджень

Пропонується класифікувати ознаки постійних досліджень наступним чином, а саме, за:

- *місцем спостереження*: режимні геофізичні станції; стаціонарні пункти спостережень;
- *призначенням*: для вивчення змін параметрів фізичних полів з часом; для постійного моніторингу природних полів; для виявлення провісників землетрусів чи інших явищ, пов'язаних з геофізичними процесами;
- *методами, що використовуються*: різні, але здебільшого один;

- *особливостями проведення досліджень*: однотипність вимірів; стаціонарність вимірювальних схем та установок; постійність використовуваних методик; незмінність складу апаратури;
- *предметом дослідження*: ті чи інші природні поля.

2.1.2. Процедура проведення постійних досліджень методом природного електричного поля

Розглянути характерні особливості, методику та принцип проведення постійних досліджень можна на прикладі режимної геофізичної станції "Нижнє Селище", що знаходиться у Закарпатській області (Хустський район) і має географічні координати: 48.197472° пн.ш., 23.456028° сх.д. (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Режимна геофізична станція "Нижнє Селище" у Закарпатській області

РГС "Нижнє Селище" розташована на території Закарпатської сейсмоактивної зони, тому, окрім інших геофізичних вимірювань, на станції ведуться неперервні електромагнітні спостереження з метою вивчення динаміки змін характеристик поля з плином часу, а головно – виявлення на вказаній території провісників землетрусів. Для подібних вивчень застосовують метод ПЕП – природного електричного поля.

Природа появи електричного поля пов'язана з дифузійно-адсорбційними та окислювально-відновними процесами, що відбуваються в

геологічному середовищі. Природна різниця потенціалів, окрім того, може виникати і при русі, тобто фільтрації, підземних вод через гірські породи [25, 27].

Полягає суть методу у тому аби визначити параметри природного електричного поля у двох напрямках: північ-південь (Пн-Пд), захід-схід (Зх-Сх), що є взаємно перпендикулярні. Для цього на території режимної геофізичної станції розгорнута спеціальна вимірювальна установка. Природне поле вивчають шляхом вимірювань різниці потенціалів на денній поверхні.

Для реєстрації електричного поля можуть використовуватися: заземлений диполь – це пара (MN) металевих (латунь, мідь) або таких, що не поляризуються, електродів: мідні стрижні в насиченому розчині мідного купоросу або графітові – у графітовому порошок, та електричні антени [27, 25].

На режимній станції давачами поля виступають дві пари електродів (заземлений диполь MN) (рис.2.2):

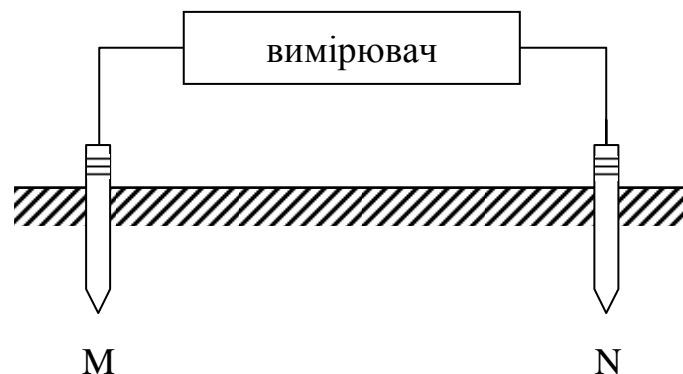


Рисунок 2.2 – Давач природного електричного поля – заземлений диполь MN

Вимірювальна установка має в собі дві пари електродів. Вони зафіксовані на певній віддалі та розташовані строго у напрямку Пн-Пд, Зх-Сх. Електроди напрямку Пн-Пд встановлені один від одного на відстані 60 м, Зх-Сх – 80 м.

Слід також зазначити, що установка є стаціонарною, гарантує виміри природного електричного поля у двох напрямках, інформаційні сигнали реєструються за єдиною методикою з використанням незмінного складу апаратури.

Схема установки зображена на рис.2.3, принцип роботи такий:

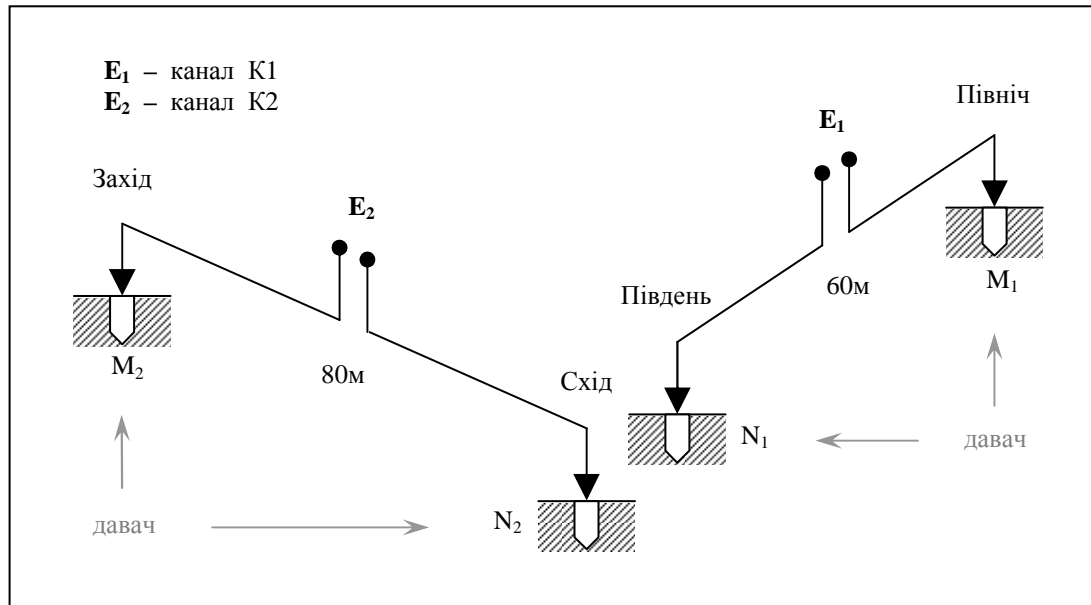


Рисунок 2.3 – Схема вимірювальної установки для постійних досліджень ПЕП на РГС "Нижнє Селище"

дві пари електродів постійно вимірюють каналну напругу K1, K2, яка відповідає різниці потенціалів E₁, E₂, причому, E₁ – на електродах напрямку Пн-Пд, E₂ – Зх-Сх. Далі здійснюється аналогово-цифрове перетворення цих аналогових сигналів [91].

Технологічно весь процес вимірювань є цілком автоматизованим, що дозволяє вести моніторинг локального природного електричного поля безперервно і круглодобово.

2.1.3. Реєстрація та збір первинних даних часових розподілів, які постійно фіксуються у річному циклі

Реєстрація та збір геофізичної інформації відбувається автоматично. Протягом доби вимірювальна апаратура автоматично щогодини реєструє значення каналних напруг з обох напрямків, а щогодини – додатково ще й температуру, причому напруга вимірюється у мВ, температура – у °С. Виміряні щогодинні та 5-хвилинні показники електричного та температурного поля тимчасово зберігаються у внутрішній пам'яті передавального приладу.

Серед зафіксованих величин: значення напруги і температури – дійсні числа, годин і хвилин – цілі, причому значення часу береться за Гринвічем. Діапазон годин: 00 – 23, діапазон хвилин: 00 – 55, робочий діапазон E_1, E_2 : ± 199.99 мВ.

Всі зареєстровані сигнали наприкінці кожної доби записуються у формі послідовних значень, що представляються кількома масивами, зберігаються за кожну добу – в окремому текстовому файлі і відсилаються автоматично для подальшої обробки та архівування на сервер (рис.2.4). На рис.2.4 – частина файлів за 2015 рік: з 17.09.2015р. по 12.10.2015р.

HC_12_10	log	5 024 12.10.2015 23:51 -64
HC_11_10	log	5 024 11.10.2015 23:51 -64
HC_10_10	log	5 024 10.10.2015 23:51 -64
HC_09_10	log	5 024 09.10.2015 23:51 -64
HC_08_10	log	5 024 08.10.2015 23:51 -64
HC_07_10	log	5 024 07.10.2015 23:51 -64
HC_06_10	log	5 024 06.10.2015 23:51 -64
HC_05_10	log	5 024 05.10.2015 23:51 -64
HC_04_10	log	5 024 04.10.2015 23:51 -64
HC_03_10	log	5 024 03.10.2015 23:51 -64
HC_02_10	log	5 024 02.10.2015 23:51 -64
HC_01_10	log	5 024 01.10.2015 23:51 -64
HC_30_09	log	5 024 30.09.2015 23:51 -64
HC_29_09	log	5 024 29.09.2015 23:51 -64
HC_28_09	log	5 024 28.09.2015 23:51 -64
HC_27_09	log	5 024 27.09.2015 23:51 -64
HC_26_09	log	5 024 26.09.2015 23:52 -64
HC_25_09	log	5 024 25.09.2015 23:52 -64
HC_24_09	log	5 024 24.09.2015 23:52 -64
HC_23_09	log	5 024 23.09.2015 23:52 -64
HC_22_09	log	5 024 22.09.2015 23:52 -64
HC_21_09	log	5 024 21.09.2015 23:52 -64
HC_20_09	log	5 024 20.09.2015 23:52 -64
HC_19_09	log	5 024 19.09.2015 23:52 -64
HC_18_09	log	5 024 18.09.2015 23:52 -64
HC_17_09	log	5 024 17.09.2015 23:52 -64

Рисунок 2.4 – Файли на сервері з даними ПЕП, які надійшли з режимної станції "Нижнє Селище"

Вся інформація на сервер передається через GSM-мережі операторів стільникового зв'язку з використанням засобів мобільного Інтернету [37, 92].

2.1.4. Опис формату представлення первинних даних часових розподілів природного електричного поля

З огляду на те, що геофізична інформація передається з використанням GSM-мереж операторів стільникового зв'язку, для мінімізації часу передачі, зменшення розміру файлу, економного використання у передавальному пристрої заряду акумулятора та враховуючи технологічні особливості вимірювальної апаратури, дані ПЕП зберігаються у спеціальному форматі. У цьому форматі передбачається наступне:

- 1) оскільки в усіх дійсних числах зафіксованих значень крапка (« . ») завжди є на 3-ій позиції з кінця значення, то такі дійсні числа подаються без « . » ;
- 2) у додатних числах збільшення розрядності « +1 » подається символом « k » ;
- 3) у від'ємних числах збільшення розрядності « -1 » подається символом « m » ;
- 4) каналні напруги, значення яких за межами встановленого робочого діапазону, подаються як « >>>>> » ;
- 5) помилкові значення при реєстрації чи збої апаратури подаються будь-якими інакшими символами.

Файли з даними, представленими саме у такому форматі, за поточний рік надсилаються і зберігаються на сервері у спеціально відведеній робочій директорії, а вся інформація за попередні роки скеровується до закритих річних архівів.

Файли мають стандартну структуру, що складається з таких частин: метаданих, куди заноситься необхідна службова інформація стосовно вимірів, та дані – із зареєстрованими значеннями інформаційний сигналів,

котрі представлені у спецформаті (рис.2.5) з використанням символічно-літерних знаків.

метадані	30.05.2016 NSEL 6778 17 -26.3	дата (30.05.2016) режимна геофізична станція "Н.Селище" (NSEL)
	00:00 30 +2344	щогодинні записи: год:хв (00:00) день (30) температура (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 45 +3713 -3134 50 +3749 -3099 55 +3719 -3092	5-хвилинні записи: хв (15) різниця потенціалів E1 з K1 (+3777) E2 з K2 (-1080)
	01:00 30 +2381		щогодинні записи: год:хв (01:00) день (30) температура (2381)
	00 +3741 -3091 05 +3730 -3104 10 +3706 -3117 15 +3679 -3129 20 +3641 -1580 . . . 45 +3908 -3134 50 +3931 -3115 55 +3944 -3103 10:00 30 +2306	щогодинні записи: год:хв (10:00) день (30) температура (2306)
дані	00 +3932 -3107 05 +3927 -3118 10 +3924 -3126 15 +3853 -3089 20 +3788 -3065 25 +3643 -2931 30 +3377 -2773 35 +3833 -3063 40 +3832 -3071 45 +3741 -3007 50 +3418 -2763 55 +3754 -2950 11:00 30 +2350	5-хвилинні записи: хв (30) різниця потенціалів E1 з K1 (+3377) E2 з K2 (-2773)
	00 +3794 -2979 05 +3954 -3006 10 +3889 -2987 15 +3834 -2927 20 +3714 -2929 . . . 40 +4016 -2994 45 +3933 -3052 50 +3986 -0298 55 +3962 -2997 22:00 30 +2437	щогодинні записи: год:хв (22:00) день (30) температура (2437)
	00 +3926 -3029 05 +3961 -3020 10 +4003 -2977 15 +4000 -2949 20 +3960 -2960 25 +3944 -2974 30 +3941 -3009 35 +4011 -2986 40 +4006 -2983 45 +4010 -2988 50 +4003 -3027 55 +3954 -0307 23:00 30 +2437	5-хвилинні записи: хв (45) різниця потенціалів E1 з K1 (+4010) E2 з K2 (-2983)
	щогодинні записи: год:хв (23:00) день (30) температура (2437)	
	00 +3970 -0302 05 +4019 -2927 10 +3998 -3015 15 +3973 -2970 20 +3977 -2974 25 +3978 -3033 30 +3959 -2992 35 +3962 -3027 40 +4003 -2926 45 +3975 -2961 50 +3973 -2999 55 +3975 -3001	5-хвилинні записи: хв (55) різниця потенціалів E1 з K1 (+3975) E2 з K2 (-3001)
	час E1 E2 год / хв мВ мВ Гринвіч Пн - Пд Зх - Сх	

Рисунок 2.5 – Структура файлів з даними постійних вимірювань ПЕП, що надходять з РГС "Нижнє Селище" у спецформаті (на прикладі даних за 30.05.2016р.)

Детальний опис формату представлення первинних даних постійних вимірювань ПЕП: структура файлів класична, тобто є чіткий поділ на розділи метаданих та самих даних.

У розділі метаданих міститься службова інформація про вимірювання, а саме:

- дата проведення вимірів ;
- скорочена назва режимної геофізичної станції ;
- заряд акумулятора ;
- рівень сигналу ;
- кошти на рахунку .

Розділ даних містить безпосередньо самі дані, а саме – це три стовпчики вимірюваних значень: час реєстрації, напруга E_1 на каналі K1 (напрямок Пн-Пд), напруга E_2 на каналі K2 (напрямок Зх-Сх).

Причому:

- 1) у щогодинних записах фіксуються: година, день, температура (t);
- 2) у 5-хвилинних: хвилини, різниця потенціалів (напруга) E_1 з каналу K1, різниця потенціалів (напруга) E_2 з каналу K2;
- 3) значення температури (t) і напруги (E_1 , E_2) – дійсні числа без крапки (« . »). Ці значення мають завжди 2 символи після « . » .

Стандартна загальна кількість рядків у файлі – 314, розмір файлу – 5024 б .

Таким чином, первинні дані постійних досліджень методом природного електричного поля подаються в електронному варіанті у вигляді текстового файлу зі специфічним форматом представлення зареєстрованих значень.

За умов, коли вимірювальна апаратура працює у штатному режимі, файл з даними має вигляд як на рис.2.5.

Однак, в ході досліджень можливі і нештатні ситуації, коли, наприклад, в роботі вимірювальної апаратури наявні збої, зареєстровані значення виходять за межі робочих діапазонів, поява шумів, завад, вискоків, стрибків та інше.

Описані нюанси спеціальним чином відображаються у блоці даних і в таких випадках у файлах використовуються наступні зарезервовані символно-літерні знаки: « k », « m », « >>>>> », « ТТТТТ », що означають:

- « k » – додатний стрибок або збільшення розрядності додатних чисел;
- « m » – від’ємний стрибок або збільшення розрядності від’ємних чисел;
- « >>>>> » – свідчить про те, що зареєстроване значення за межами робочого діапазону;
- « ТТТТТ » (чи будь-які інші символи, відмінні від « k », « m », « >>>>> ») – ознака збою апаратури реєстрації.

Такі файли можуть виглядати як у табл.2.1.

Таблиця 2.1.

Взірці файлів даних ПЕП

Файл 1	Файл 2	Файл 3	Файл 4
15.07.2017 NSEL	01.02.2016 NSEL	55 +5897 -1827	15 +0744 -0909
6770 15 -4.21	6767 18 57.57	07:00 04 +1575	20 +0324 -1030
00:00 15 +2425	00:00 01 +1494	00 +6090 m7730	25 +0323 -1029
00 k1091 -3506	00 +2612 -0980	05 +6101 m7871	30 +0429 -9997
05 k1065 -3549	05 +2592 -1003	10 +6432 m6601	35 +0661 -9333
10 k1103 -3517	10 +2665 -9943	15 +6193 m7325	40 +0363 -1006
15 k1050 -3560	15 +2721 -0980	20 +6097 -1764	45 +0412 -1001
20 k1085 -3527	20 +2565 -1008	25 +6045 m7971	50 +0339 m0170
25 k1108 -3505	25 +2535 m0297	30 +5675 m8950	55 +0371 m0054
30 k1092 -3511	30 +2555 m0300	35 +5646 m8925	12:00 30 +1187
35 k1072 -3548	35 +2491 m0377	40 +4902 >>>>>	00 +0610 -0943
40 k1080 -3529	40 +2506 -1017	45 +4671 >>>>>	05 +0353 -1014
45 k1055 -3561	45 +2631 -9918	50 +4760 >>>>>	10 +0707 -9430
50 k1077 -3552	50 +2804 -9335	55 +4565 >>>>>	15 +0396 m0085
55 k1056 -3540	55 +2593 m0177	08:00 04 +1550	20 +0580 -0958
01:00 15 +2412	01:00 01 +1481	00 +4590 >>>>>	25 ГТТТТТТТТТТТ
00 k1070 -3569	00 +2653 -1002	05 +5536 m9106	30 ФТТТТТТТТТТТ

Хоча обидві форми представлення даних (рис.2.5 і табл.2.1) і зрозумілі для фахівців-геофізиків, проте вони є досить не зручні і не придатні навіть для попередньої обробки, бо потребують додаткового перетворення. Іншими словами, потрібно вилучити з такого файлу неінформативні, але потрібні, значення щогодинних записів, натомість інформативні корисні 5-хвилинні перетворити у змістовні та повноцінні, тобто хвилини у таких записах представити у форматі повної дати (дата год:хв) з урахуванням годин зі щогодинних записів, а усі нецифрові та цифрові символи замінити на цифрові відповідного типу і точності.

2.1.5. Інформаційна модель та алгоритм структурування даних природного електричного поля

Як зазначалося вище, файли постійних досліджень з даними ПЕП, представлені у першому (рис.2.5) чи другому (табл.2.1) вигляді, складні для безпосереднього аналізу і працювати з ними у такому поданні вкрай проблематично. Тому виникає потреба у структуруванні таких даних, тобто - перетворенні їх до вигляду, зручного для аналізу і сприйняття фахівцями інших предметних областей та придатного для подальшої комп'ютерної обробки і візуалізації.

Для перетворення даних до числового вигляду розроблено інформаційну модель (рис.2.6) 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: символ «k» замінюється на «+1», «m» - на «-1», «>>>>>>» - на «0»;

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 2.6 – Інформаційна модель структурування моніторингових даних

Скориставшись для перетворення даних розробленим алгоритмом, всі вони набуватимуть вигляд як у табл.2.2.

Таблиця 2.2.

Файли постійних вимірювань ПЕП з даними за 04.02.2016р.

оригінальний файл у спецформаті	перетворений файл 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
25 k6045 m7971	04.02.2016 7:25 +160.45 -179.71
30 +5675 m8950	04.02.2016 7:30 +56.75 -189.50
35 +5646 m8925	04.02.2016 7:35 +56.46 -189.25
40 +4902 >>>>>	04.02.2016 7:40 +49.02 0
45 +4671 >>>>>	04.02.2016 7:45 +46.71 0
50 +4760 >>>>>	04.02.2016 7:50 +47.60 0
55 +4565 >>>>>	04.02.2016 7:55 +45.65 0
08:00 04 +1550	04.02.2016 8:00 04 +15.50
00 +4590 >>>>>	04.02.2016 8:00 +45.90 0
05 +5536 m9106	04.02.2016 8:05 +55.36 -191.06
10 +5386 m9135	04.02.2016 8:10 +53.86 -191.35

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

2.2. Польові дослідження

Польові дослідження, які використовуються поряд з постійними для наукового вивчення фізичних полів, а також розв'язку прикладних задач, мають свої характерні особливості, мету та специфіку проведення.

Польові дослідження ведуться непостійно і нерегулярно. Основна мета таких досліджень – локальні вивчення геологічного середовища різних за площею територій або ділянок, які можуть виконуватись у будь-якій географічній точці та проводитися за потреби чи у разі необхідності.

Об'єктами польових досліджень, здебільшого, виступають: земляні дамби, шахтні поля рудників, відпрацьовані родовища, борти кар'єрів,

підземні шахти, дамби хвостосховищ, прилеглі до них території, площі, що межують з ними, суміжні райони, розташовані поруч ділянки, а також інженерно-геологічні об'єкти промислового та цивільного характеру: автодороги, будівлі, школи, майданчики будівництва [63-66, 70-71, 79].

В залежності від складності та специфіки робіт, на досліджуваних територіях можуть вестися точкові, площинні або профільні спостереження.

Точкові спостереження, як правило, використовуються у випадках, коли вивчається невеличка ділянка і точок спостережень є небагато.

Площинні спостереження проводяться з метою дослідження значних площ чи територій. В таких випадках на досліджуваних теренах розбивається система профілів, на кожному профілі – з відповідним і достатнім кроком встановлюються точки спостережень – пікети (ПК). Дослідження проводяться по кожному пікеті окремо, послідовно проходячи усі прокладені профілі.

Профільні спостереження, зазвичай, ведуться вздовж одного профілю, коли необхідно дослідити стан геологічного середовища чи вивчити зміни георозрізу в горизонтальному напрямку (тобто, по латералі) приблизно на однаковому глибинному рівні. Вимірювання проводяться послідовно пікет за пікетом впродовж усього профілю.

Часто-густо для вивчення певного району чи території послуговуються не одним-єдиним методом електророзвідки, а двома-трьома (сама ж електророзвідка як один з методів досліджень має чи не найбільше модифікацій), ба, мало того, для більшої інформативності результатів досліджень, підвищення надійності та достовірності результатів обробки, нерідко вдаються до поєднання різних геофізичних методів. За таких умов значно ускладнюється вимірювальний процес, оскільки на пунктах спостережень для різних методик розгортаються різні схеми установок, задіюється різне технологічне обладнання, залучаються і працюють різні групи спеціалістів. При цьому вимірювання проводяться найрізноманітнішими приладами та апаратурою, що працюють з відповідною

частотою і точністю та реєструють значення інформаційних сигналів кожен у своєму форматі згідно зі своєю методикою. Слід зазначити, що на сьогодні забезпечувати автоматичну реєстрацію з автоматичним формуванням файлів первинних даних можуть не всі вимірювальні прилади [73].

Для польових досліджень, як правило, притаманне: непостійність самих спостережень, розмаїття методик, неоднаковість складу апаратури, змінність досліджуваних територій, різноплановість розв'язуваних завдань.

Варто наголосити, що важливим в ході таких спостережень є оперативність і якість ведення польових робіт, а це у свою чергу залежить і від географічного розташування, і погодних умов, а також – рельєфу місцевості. Однак, вирішальним в сенсі оперативного дослідження тої чи іншої площі або ділянки є організація проведення геофізичних робіт.

2.2.1. Класифікація параметричних і структурних ознак польових досліджень

Пропонується класифікувати ознаки польових досліджень у такий спосіб:

- *за призначенням*: дослідження верхньої частини геологічного розрізу; уточнення геологічної будови; виявлення зсувних процесів, екологічно-небезпечних явищ, аномальних зон; визначення рівня ґрунтових вод; аналіз стану геологічного середовища; виявлення водоносних горизонтів; дослідження забруднених чи небезпечних ділянок, місць обвалів, провалів, порожнин; вивчення приповерхневої частини геологічного середовища; оцінка екологічно-проблемних територій;
- *за місцем спостережень*: окремі ділянки, площі, території за різним місцезнаходженням;
- *за використовуваними методами*: один і більше, можливе поєднання кількох;

- *за предметом досліджень*: природні поля або поля штучного походження; фізичні явища, які під дією цих полів виникають;
- *за особливостями проведення досліджень*: мобільність і портативність вимірювальних установок; різнотипність вимірів; несхожість використовуваних методик; змінність складу апаратури;
- *за характером робіт*: точкові, площинні, профільні вимірювання.

2.2.2. Процедура проведення польових досліджень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

Розглянути характерні особливості, принцип та методику проведення польових досліджень можна на прикладі вивчення проблемного об'єкту та його геологічного середовища 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 хвостосховища.

Дане хвостосховище розташоване на окраїні м.Стебника (північно-східна частина) поблизу річки Солониці, що є правою притокою річки Тисмениці, – це відгороджені дамбами техногенні водойми, куди по трубопроводу відводилися рідкі відходи хімічної збагачувальної фабрики. Об'єкт є екологічно-небезпечним і загрозливим для довкілля.

Спостереження проводились вздовж усього периметру дамби. Для цього по верхній частині дамби (тобто, по гребеню) був прокладений один профіль і розбитий з відповідним кроком на пікети. Довжина профілю – понад 3 км, 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

грунту, на забруднених чи зсувонебезпечних ділянках, екологічно-проблемних територіях для вирішення задач структурно-пошукового, інженерно-геологічного та гідрогеологічного спрямування локального характеру [25, 27, 75, 63-66, 79, 93]. Він дозволяє з достатньо високою роздільною здатністю визначати електричні параметри середовища та літологічний склад порід, виявляти структурні та тектонічні особливості геологічного середовища на відносно невеликих глибинах. Проте, існують і негативні чинники, що ускладнюють проведення польових спостережень, а разом з тим і обробку й інтерпретацію отриманих матеріалів. Зокрема, до таких факторів належать: близькі джерела інтенсивних електромагнітних завод – високовольтні та силові лінії електропередач; наявність підземних комунікацій – залізобетонні споруди, кабелі, трубопроводи (за винятком тих ситуацій, коли згадані об'єкти є предметом пошуку).

Фізична суть методу ЗСБ. Метод зондування становленням електромагнітного поля 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 [27, 81, 59, 67]. Фізика методу наступна: навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле. Коли при допомозі генератора подається електричний струм, довкола цього провідника існує магнітне поле. Однак, при вимкненні струму, магнітне поле змінюється. І тепер, згідно із законом Фарадея, така зміна магнітного поля з плином часу приводить до появи у геологічному середовищі вихрового електричного струму. Вихровий струм, у свою чергу, збуджує довкола себе вторинне магнітне поле, котре також змінюється і з часом, і в просторі. Саме це магнітне поле і створює індукційний ефект в приймачі поля на поверхні землі.

Таким чином, при миттєвій зміні струму у провідному геоелектричному розрізі виникають процеси становлення поля (перехідні процеси). Тривалість і характер становлення поля пов'язані з розподілом

питомого електричного опору гірських порід на різних глибинах і залежать від віддалі між джерелом та приймачем.

При зміні струму в джерелі спочатку неусталене електромагнітне поле поширюється в приповерхневих шарах розрізу, а з плином часу – занурюється дедалі глибше, поступово згасаючи. Глибина проникнення поля перехідних процесів в землю зростає з часом, що минув з моменту ввімкнення-вимкнення струму в живильному контурі – це час становлення поля. При цьому, малим часам становлення поля відповідає мала глибина розвідки, великим – велика. Максимальна глибина зондувань становленням ≈ 5 км – 10 км [75, 94].

Сигнал, що реєструється, змінюється складним чином, спадає до нуля [27]. Залежність цього сигналу в точці спостережень від часу становлення відображається кривою становлення поля. Вигляд кривої залежить від розподілу провідності у досліджуваному середовищі.

Підсумовуючи все викладене вище, можна сказати, що метод зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні заснований на вивченні електромагнітного перехідного поля вторинних вихрових струмів, що виникають в землі після вимкнення первинного поля. Ідея методу полягає у тому, щоб визначити поле перехідних процесів, яке виникає в землі внаслідок імпульсних змін струму в джерелі.

Джерела та давачі поля у методі ЗСБ. У методі зондування становленням в якості джерела поля можуть виступати [27] як заземлені лінії (АВ) (горизонтальний електричний диполь), так і незаземлені петлі (Q) (вертикальний магнітний диполь). Процес становлення поля може вивчатися через компоненти електричного або магнітного поля.

Для реєстрації магнітного поля, тобто давачами, в електророзвідці можуть виступати [27]:

- 1) петлі та рамки;
- 2) індукційні давачі;
- 3) магнітостатичні давачі (магнітометри).

Вони вимірюють потрібну компоненту магнітного поля.

Петлі та рамки – це одно- чи багатовиткові контури різних розмірів. Рамки – багатовиткові контури з розміром 10 см – 1,5 м на твердій основі. Оскільки вони не є габаритні, тому їх можна використовувати у будь-якому напрямку, і через це вимірювати ними можна будь-яку компоненту магнітного поля. Петлі на основі не фіксуються, їх розміри: метри – 1 км, петлі розкладають на поверхні землі і реєструють лише вертикальну компоненту магнітного поля. Електричний вихідний сигнал формується за законом електромагнітної індукції Фарадея:

$$\Delta U = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \cdot n = -nS \cdot \frac{\partial B_n}{\partial t},$$

де Φ – потік магнітної індукції через рамку, n – кількість витків у контурі, S – площа рамки, B_n – компонента магнітної індукції, перпендикулярна до площини рамки.

Таким чином, процес становлення поля через компоненти електричного поля може вивчатися з допомогою заземлених ліній (MN), або через компоненти магнітного поля: з допомогою індукційних давачів – реєструються горизонтальні компоненти, з допомогою індукційних давачів, або, що є найчастіше, незаземленою петлею (q) реєструється вертикальна компонента. Фіксують різницю потенціалів на вимірювальних електродах (MN) або електрорушійну силу (ЕРС) індукції, що виникає в петлі, у різні моменти часу, значення залежать від параметрів геоелектричного розрізу [95]. Зважаючи на те, що на практиці створити задовільний струмовий імпульс є складно, збудження поля у досліджуваному середовищі отримують шляхом ввімкнення-вимкнення струму в генераторній петлі.

Однією з типових установок методу є ”петля в петлі”. Вона складається з двох незаземлених квадратних петель: генераторної (живильної) Q, яка є джерелом, та приймальної (вимірювальної) q, що виступає приймачем.

Довжина генераторної петлі, зазвичай є більша за довжину приймальної: $Q > q$ (Q – сторона квадрату генераторної петлі, q – сторона квадрату приймальної петлі).

Петлі розкладаються на поверхні землі у вигляді квадратів зі спільним центром, як правило, симетрично одна в одній. Для того аби збільшити глибину досліджень, збільшують розмір генераторної петлі, а також і силу струму, що протікає через неї (рис.2.7).

Сигнал ΔU_q у приймальній петлі з ефективною площею S (з урахуванням кількості витків) пропорційний швидкості зміни вертикальної компоненти магнітного поля H_z з часом:

$$\Delta U_q = -\mu_0 S \frac{\partial H_z}{\partial t},$$

де μ_0 – магнітна проникність вакууму.

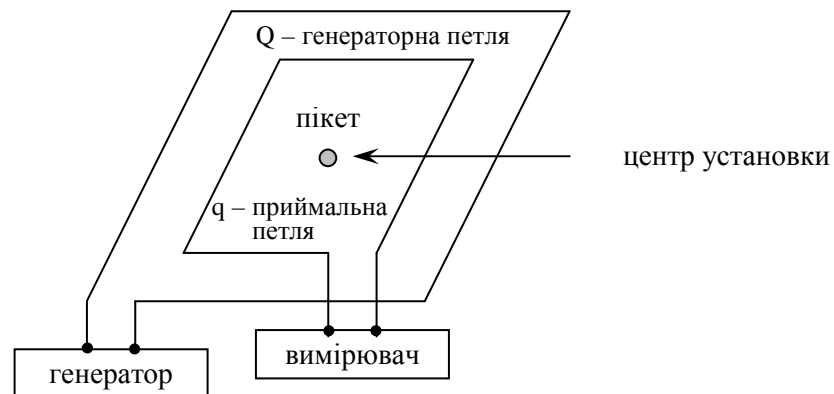


Рисунок 2.7 – Схематичне зображення установки ”петля в петлі”

Окрім генераторної та приймальної петель, до складу геофізичної апаратури входять вимірювальний прилад та блоки живлення (акумулятори).

Основними перевагами методу ЗСБ є:

- різна глибина досліджень (це досягається за рахунок зміни розмірів генераторної петлі і сили струму, що проходить через неї);

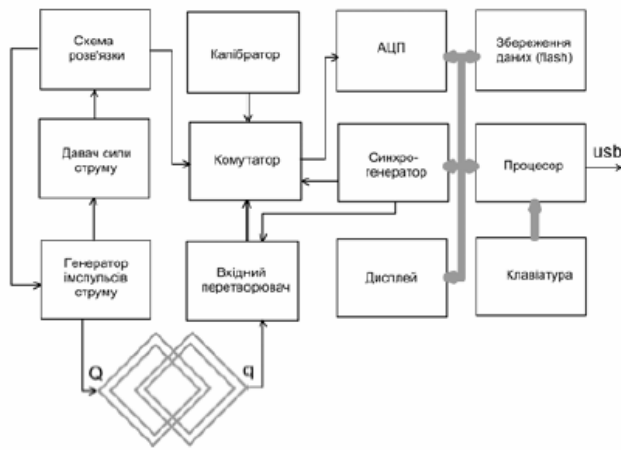
- висока детальність та локальність вивчень;
- однозначне трактування результатів вимірів в точці спостережень;
- висока продуктивність досліджень;
- вимірювання за будь-яких погодних умов;
- робота на будь-якій місцевості;
- результати вимірювань чутливі до змін параметрів геологічного розрізу;
- зондування можливі за будь-яких природних умов, оскільки виміри проводяться без гальванічного заземлення.

Варто також зазначити, що через мобільність та портативність вимірювального комплексу, а також – нескладну методику проведення геофізичних досліджень, описаний метод придатний для будь-яких спостережень: точкових, площинних чи профільних.

Суть польових досліджень. Польові дослідження на території Стебницького родовища калійних солей проводились методом ЗСБ вздовж усього прокладеного профілю по периметру дамби хвостосховища окремо на кожній точці спостережень. Для вимірювань використовували метод "петля в петлі", стан середовища діагностували цифровою імпульсною завадостійкою швидкодіючою апаратурою "Стадія-М".

Згаданий прилад придатний для діагностики імпульсними електромагнітними полями станів середовищ верхньої частини геологічних розрізів і дозволяє виконувати класичні електромагнітні зондування та модифікації методу у гранично високому частотному діапазоні, коли струмами зміщення можна ще знехтувати. Складається апаратура з генераторної та вимірювальної частин, які побудовані на сучасній елементній базі. Програмне управління забезпечує виконання всіх операцій щодо збудження та вимірювання сигналів, архівування в енергонезалежній пам'яті виміряних сигналів і зчитування на персональний комп'ютер самих даних [65].

Структура та взірець апаратури зображені на рис.2.8.



а)



б)

Рисунок 2.8 – Структура (а) і взірєць (б) апаратури ”Стадія-М” для діагностування геологічних середовищ

Основні технічні характеристики приладу ”Стадія-М” наступні: імпульсний струм (максимальний) – 10А, початковий час реєстрації сигналів – 0.1мкс, форма струму збудження – прямокутні знакозмінні імпульси розділені паузами, амплітудний діапазон – 100дБ, мінімальний крок дискретизації – 0.1мкс .

Вимірювальний прилад забезпечує виміри широкосмугових сигналів індукованого поля та передбачає виконання наступних операцій: кодування за рівнем вхідних сигналів у дискретні моменти часу від початку становлення; перетворення частотного спектра вхідних сигналів і звуження частотного спектра кодованих сигналів; синхронна фільтрація вимірювальних сигналів; подавлення напруги на вході (постійна і повільно змінна, зокрема і та, що обумовлена поляризаційними процесами) і комутаційних шумів; когерентне детектування вимірювальних сигналів та подавлення продуктів детектування побічних. Метрологічні параметри приладу дозволяють використовувати його і при польових спостереженнях, і при фізичному моделюванні електромагнітних процесів у 3D середовищах з дотриманням умов подібності.

Апаратура і методичні підходи щодо оцінки стану середовища застосовувалися також і для вивчення динаміки екологічно-небезпечних

процесів на виділених ділянках, де інтенсивного розвитку набули екологічно небезпечні явища.

Схема установки з використанням приладу "Стадія-М" зображена на рис.2.9.

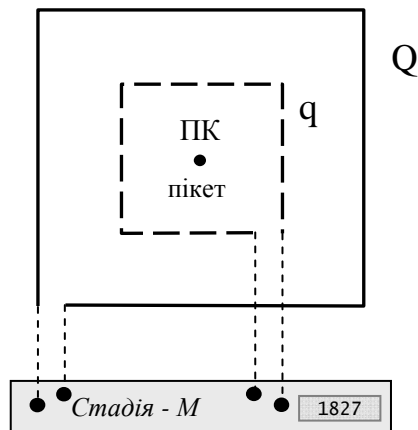


Рисунок 2.9 – Схема вимірювальної установки "петля в петлі" методу ЗСБ з використанням приладу "Стадія-М"

(— — — — генераторна петля (Q), - - - - приймальна петля (q))

Технологія польових робіт установкою "петля в петлі". Для кожної точки спостережень (пикету) розгортається потрібна установка, на поверхні землі розкладаються генераторна і приймальна петлі у вигляді квадратів зі спільним центром, які під'єднуються до відповідних клем на вимірювальному приладі та проводяться виміри. Внаслідок послідовної подачі імпульсів струму в генераторній петлі у досліджуваному провідному середовищі виникає (збуджується) електромагнітне поле перехідних процесів. Це поле, у свою чергу, викликає в приймальній петлі електрорушійну силу, котру називають перехідною характеристикою середовища, сигналом становлення, кривою становлення поля. Саме ця характеристика і реєструється в процесі вимірювань на кожному пикеті профілю. То ж іншими словами можна сказати, що вздовж профілю фіксується крива становлення.

Для покращення результатів досліджень на кожному ПК вимірювання проводяться двічі: струм в генераторній петлі подається у двох протилежних полярностях. Для наступних розрахунків береться середнє значення ЕРС.

Отримані таким чином значення електрорушійної сили в подальшому використовуються для інтерпретації результатів спостережень, а саме – за цими зареєстрованими даними ЕРС розраховуються характеристики досліджуваного середовища.

Отож, підсумовуючи все викладене вище, хід польових досліджень методом ЗСБ коротко можна описати так:

досліджуваний об'єкт розбивається на профілі (один чи декілька), на кожному з профілів з однаковим кроком прокладаються пікети, на кожному з пікетів розгортається установка "петля в петлі", під'єднується відповідна апаратура, фіксуються процеси становлення поля через значення ЕРС у приймальній петлі, тобто вимірюється крива становлення поля. Оскільки в ході досліджень на кожній точці струм подається у двох протилежних полярностях, значення інформаційних сигналів ЕРС реєструються, так би мовити, окремо для « + » та « – » і заносяться у журнали польових робіт.

2.2.3. Реєстрація та збір первинних даних просторово-часових розподілів, що фіксуються при польових дослідженнях

Реєстрація та збір геофізичної інформації на кожному пікеті профілю був організований наступним чином: 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.

Схематичне зображення описаного процесу польових вимірювань методом ЗСБ з відповідними записами даних реєстрації в журналі польових робіт зображені на рис.2.10.

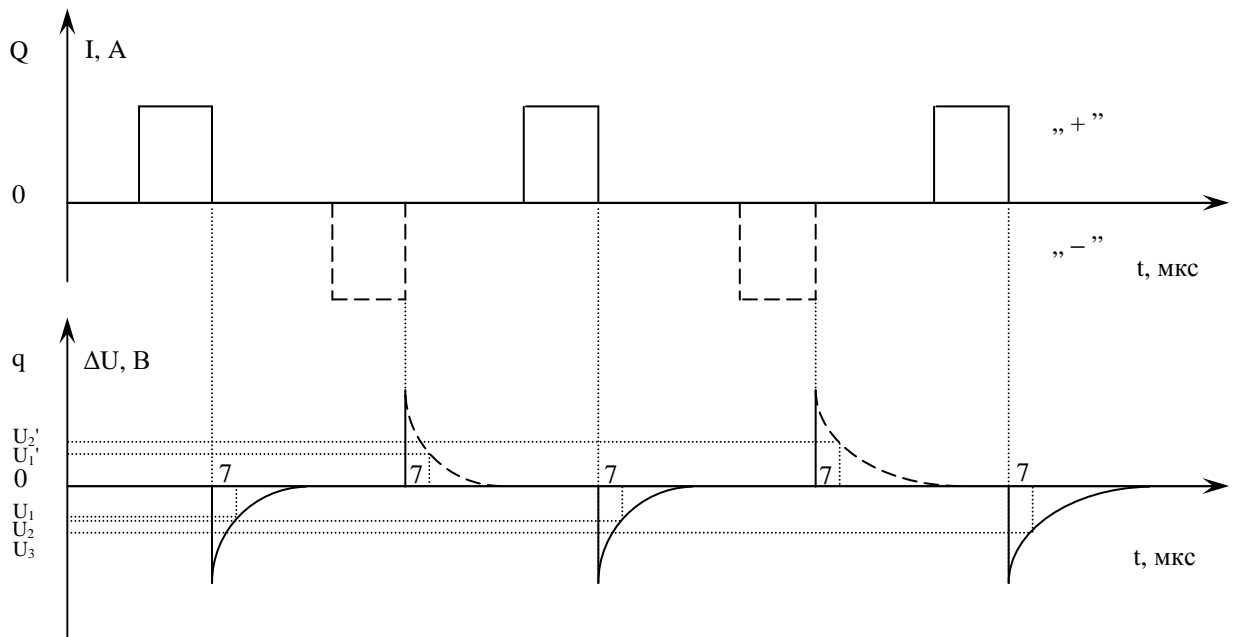


Рисунок 2.10 – Схематичне зображення повного процесу польових вимірювань методом ЗСБ в обох полярностях поданого сигналу (лінії: суцільні – « + », пунктирні – « - »)

Детальний алгоритм реєстрації інформаційних сигналів в приймальній петлі на кожному ПК складався з таких кроків:

- 1) задавався час затримки (наприклад, 7мкс) ;
- 2) задавався тип полярності сигналу (наприклад, « + ») ;
- 3) вимірювалися значення ЕРС, усереднювалися, нормувалися на струм, виводились на табло приладу, записувались у журнали польових робіт ;
- 4) задавався протилежний тип полярності сигналу (наприклад, « - ») ;
- 5) виконання п.3 ;
- 6) задавався наступний час затримки і знову повторювалися п.2 – п.5 .

Варто зауважити, що в процесі вимірювань усереднення інформаційних сигналів є апаратне, організоване на апаратному інтеграторі. Зміна полярності сигналу відбувається при допомозі відповідного перемикача на вимірювальному приладі. Часи затримок задаються вручну з урахуванням економії часу проведення польових робіт послідовно збільшуючи крок від

найменших значень на початку перехідного процесу, де інформація є вкрай важлива і корисна, до більших для дальших часів, що відповідає більшим глибинам. Враховуючи описані особливості, шкала затримок може мати вигляд як у табл.2.3.

Таблиця 2.3

Шкала часів затримок

значення, мкс																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	...

У журнали польових робіт часові затримки записуються у мкс, ЕРС – мкВ. Зафіксовані значення часових затримок – цілі числа, ЕРС – дійсні.

Таким чином, по завершенні польових спостережень методом ЗСБ отримуємо набір первинних даних, що сформовані та записані у вигляді двох масивів послідовних значень для кожного пікету зокрема і збережені у журналах польових робіт.

2.2.4. Опис способу представлення просторово-часового формату первинних даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

З огляду на те, що польові дослідження проводяться в умовах суворой економії як ресурсів, так і часу, тому записи у журналах польових робіт ведуться у максимально спрощеному та мінімалізованому форматі, з дотриманням наступних правил (рис.2.11):

1) значення інформаційних сигналів ЕРС записуються без урахування розрядності, це врегульовується дописуванням « 0 » в кінці тих усіх величин, які були зафіксовані до так званого переходу розрядності (числа на переході розрядності занотовуються через косу риску, наприклад, 89/870).

2) крок часів затримок береться не однаковий, а добирається спеціальним чином з урахуванням інформативності та особливостей перебігу перехідного процесу (він спадає за степеневим законом), тому інформаційні

сигнали фіксуються не з однаковим кроком, а за принципом – чим дальший час перехідного процесу, тим більший крок.

3) на кожній точці спостережень занотовується лише необхідне.

	77	78	78	79	80	81	
1	49.31405 23.56543	49.31393 23.56480	49.31393 23.56480	49.31393 23.56480	49.31401 23.56432	49.31370 23.56310	1905794
2	960 946	754 748	736 723	881 881	912 912		855 840
3	486 488	324 321	433 433	515 518	616 618		501 503
4	298 299	251 250	311 310	356 360	406 409		378 379
5	202 205	203 202	241 239	270 270	375 375		263 262
6	446 150	169 170	194 185	212 213	309 309		225 208
7	111 118	144 144	163 163	173 172	260 258		191 170
8	530 363	125 134	134 139	144 143	221 220		163 143
9	665 603	105 108	120 120	122 121	190 188		124 122
10	596 602	532 530	105 105	105 105	165 164		104 104
12	414 460	644 644	53 503	53 503	748 745	128 124	54 50
14	336 353	500 562	654 653	583 583	88/835 98/94		691 656
16	260 288	472 474	540 540	465 464	341 344		542 548
18	215 233		454 460	373 376	544 545		400 453
20	198 194		343 346	312 311	431 432		296 294
22	153 165		339 343	262 259	343 342		341 343
24	120 146		295 301	222 219	324 322		295 301
26	112 125		260 264	190 187	287 206		263 265
28	98 108		229 236	164 161	223 222		232 235
30	89 95		204 211	143 135	184 184		207 211
35	63.6 68.8		157 163	105 101	124 123		161 163
40	47.6 51.2		123 120	80 70	85 83		125 124
45	37 40.8		98 104	62 59	60 59		104 104
50	28.7 32.1		51 52	50 46	45 42		53 56
60	19.3 20.0		58 59	34 30	26 23		58 62
70	13.6 16.0		42 49	25 27	16.5 13		42 46
80	9.8 11.9		33 40	19 16	11 9		33 36
90	4.4 4.6		2.6 3.2	1.5 1.0	2 5		2.5 2.8
100	5.6 3.3		2.0 2.7	12.5 3	6 17		21 23
110	3.8 5.8		13.5 14	9 4	4 1		16 14
120	3.2 3.8		6 14	7 2	13 0		12 20
130	2.4 2.4		5 4.5	5 1	2.5 0		4 6.5
140	1.8 0.9		3.5 8.	4.7 0	0 0		3 5

Рисунок 2.11 – Вигляд журналу польових робіт із занотованими первинними даними досліджень методом ЗСБ

З урахуванням сказаного вище, на кожнім ПК фіксується наступне:

- дата і час проведення вимірів ;
- ідентифікатор чи номер за порядком пікету ;
- розміри генераторної петлі QxQ (часто, лише сторона квадрату Q) ;
- розміри приймальної петлі qxq (часто, лише сторона квадрату q) ;
- географічні координати точки спостережень ;
- альтитуда ;
- часові затримки і відповідні їм значення ЕРС, зареєстровані при різних полярностях поданого струму (в « + » та « - ») .

У журналі переходи розрядності позначаються як два значення, записані через косу риску, наприклад: 89/870 . Такий запис означає, що

реальні значення всіх величин перед ним насправді є помножені на 10.

Таким чином, форма подання первинних даних польових досліджень ЗСБ – це паперовий варіант – записи зі специфічним форматом представлення у журналах польових робіт.

Для подальшої роботи така форма не є придатна, має бути переведена в електронний варіант і перетворена до стандартного вигляду.

2.2.5. Інформаційна модель структурування та вибір інформаційних ознак для даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

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

Для цього розроблено інформаційну модель структурування даних ЗСБ (рис.2.12). Вона складається з розділу метаданих та самих даних.



Рисунок 2.12 – Інформаційна модель структурування даних ЗСБ

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 « - »).

Файл з даними спостережень методом ЗСБ, який був створений за записами у польовому журналі, зображений на рис.2.13:

97			DATE = 12.11.2017			<p>метадані</p> <p>-----</p> <p>дані</p>
49.314056			TIME = 15:20:50			
23.565435			LATITUDE [°] = 49.314056			
1			LONGITUDE [°] = 23.565435			
2	960	946	ALTITUDE [m] = 301			
3	486	488	OBJECT = ste			
4	288	299	PROFIL = 1			
5	202	205	PIKET = 77			
6	146	150	Q [m] = 20			
7	111	114	q [m] = 10			
8	830	863	-----			
9	665	703	t	e1	e2	
10	596	602	2	9600.0	9460.0	
			3	4860.0	4880.0	
			4	2980.0	2990.0	
			5	2020.0	2050.0	
			6	1460.0	1500.0	
			7	1110.0	1140.0	
			8	830.0	863.0	
			9	665.0	703.0	
			10	596.0	602.0	

Рисунок 2.13 – Дані ЗСБ: оригінальний запис у журналі польових робіт (зліва) та створений файл зі структурованими даними (справа)

Таке представлення даних польових вимірювань разом зі службовою інформацією забезпечило можливість їх подальшого аналізу та візуалізації.

Висновки до розділу 2: розроблено інформаційну модель структурування польових та моніторингових даних геофізичних спостережень шляхом поєднання службової інформації з даними вимірювань, 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.

РОЗДІЛ 3.

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

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.

3.1. Модель тренду часового ряду моніторингових даних природного електричного поля та метод їх експрес-аналізу

Постійні дослідження проводяться з метою аналізу змін параметрів досліджуваних полів з часом та встановлення імовірних залежностей з різними фізичними явищами та процесами на конкретних пунктах спостережень. Для цього на таких пунктах організовується постійна реєстрація та збір геофізичної інформації.

Для безперервного і круглодобового моніторингу локального природного електричного поля на режимній станції розгорнута спеціальна вимірювальна установка. Принцип і методика проведення таких досліджень, а також – реєстрація та збір первинних даних детально описані у розділі 2.

Добовий запис даних ПЕП містить 288 значень. Взірець такого запису представлений на рис.3.1.

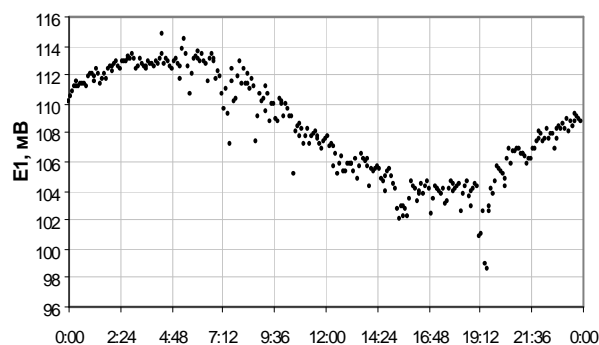


Рисунок 3.1 – Добовий запис даних ПЕП

Як було зазначено у розділі 2, в постійних дослідженнях вимірювання ПЕП відбуваються автоматично що 5 хвилин протягом усієї доби. Схематично цей процес можна зобразити наступним чином (рис.3.2):

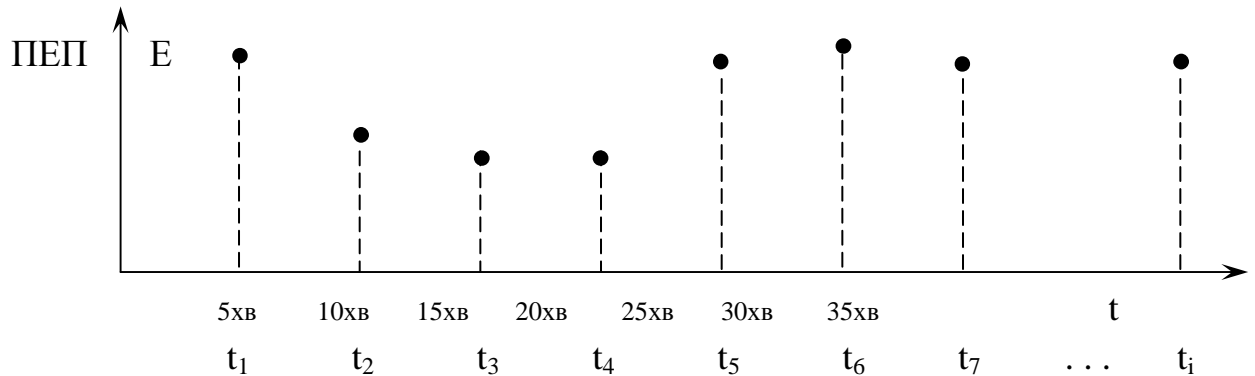


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення процесу постійних вимірювань ПЕП

Характерними особливостями процесу постійних вимірювань ПЕП є те, що: виміри відбуваються у чітко визначені моменти часу t_i , в інші часи виміри не відбуваються, міряється одне значення в одній конкретній точці. Дані однієї доби з 5-хвилинним інтервалом подані у табл.3.1.

Таблиця 3.1

Дані ПЕП за 23.07.2017р., зафіксовані з 5-хвилинним інтервалом

№ з/п	год : хв	значення ПЕП E1	№ з/п	год : хв	значення ПЕП E1	№ з/п	год : хв	значення ПЕП E1
1	0:00	94,7	181	15:00	80,19	...	...	...
2	0:05	94,69	182	15:05	80,67	259	21:30	81,77
3	0:10	94,38	183	15:10	79,85	260	21:35	81,01
4	0:15	94,09	184	15:15	79,77	261	21:40	80,61
5	0:20	94,65	185	15:20	80,26	262	21:45	80,93
6	0:25	94,15	186	15:25	79,06	263	21:50	79,82
7	0:30	93,99	187	15:30	79,45	264	21:55	84,73
8	0:35	93,99	188	15:35	79,06	265	22:00	85,79
9	0:40	93,65	189	15:40	79,69	266	22:05	84,97
10	0:45	92,9	190	15:45	79,03	267	22:10	85,01
11	0:50	92,71	191	15:50	79,64	268	22:15	85,31
12	0:55	94,43	192	15:55	79,09	269	22:20	86,08
13	1:00	95,01	193	16:00	79,73	270	22:25	86,2
14	1:05	94,53	194	16:05	78,59	271	22:30	85,09
15	1:10	94,74	195	16:10	79,47	272	22:35	84,9
16	1:15	95,05	196	16:15	79,86	273	22:40	85,89
17	1:20	94,25	197	16:20	79,31	274	22:45	86,59
18	1:25	95,98	198	16:25	79,1	275	22:50	86,27
19	1:30	95,52	199	16:30	78,61	276	22:55	85,64
20	1:35	95,81	200	16:35	78,87	277	23:00	85,98
21	1:40	95,81	201	16:40	78,81	278	23:05	86,34
22	1:45	95,61	202	16:45	78,31	279	23:10	86,77
23	1:50	95,68	203	16:50	77,98	280	23:15	87,93
24	1:55	96	204	16:55	77,86	281	23:20	85,64
25	2:00	95,49	205	17:00	78,84	282	23:25	85,89
26	2:05	96,55	206	17:05	78,68	283	23:30	88,62
27	2:10	95,55	207	17:10	78,57	284	23:35	88,02
28	2:15	96,11	208	17:15	78,94	285	23:40	86,36
29	2:20	95,53	209	17:20	79,22	286	23:45	88,9
30	2:25	95,84	210	17:25	79,07	287	23:50	85,86
...	...	...	...	...	...	288	23:55	83,69

Дані природного електричного поля за цілий місяць (липень 2017 року) представлені у табл.3.2 (скорочений варіант). Детальніше – у Додатку А.

Таблиця 3.2

Зареєстровані значення природного електричного поля
з 5-хвилинним інтервалом за липень 2017 року

№	год:хв	01.07.2017	02.07.2017	03.07.2017	...	15.07.2017	...	29.07.2017	30.07.2017	31.07.2017
1	0:00	133,22	131,17	129,48		110,91		68,13	69,66	65,4
2	0:05	133,19	131,01	129,38		110,65		68,24	69,52	65,59
3	0:10	133,27	131,2	129,51		111,03		68,28	69,34	65,27
4	0:15	133,5	131,27	129		110,5		68,36	69,79	65,61
5	0:20	133,58	131,6	129,06		110,85		68,39	69,74	66,32
6	0:25	131,64	131,28	128,48		111,08		68,24	70,19	66,1
7	0:30	130,87	131	128,32		110,92		68,73	69,78	66,21
8	0:35	130,57	130,83	128,56		110,72		68,41	70,16	65,79
9	0:40	131,22	130,66	128,36		110,8		68,5	69,86	65,92
10	0:45	132,13	130,92	128,52		110,55		68,55	70,25	65,93
11	0:50	132,03	130,67	129,35		110,77		68,87	70,38	66,38
12	0:55	131,81	130,73	129,43		110,56		68,62	70,46	66,79
13	1:00	131,7	130,37	128,72		110,7		69,26	70,79	66,52
14	1:05	132,74	130,8	129,24		110,56		69	70,47	67,02
15	1:10	132,94	131,26	128,54		110,67		69,53	70,13	66,66
16	1:15	133,1	130,51	128,71		111,12		69,54	70,46	66,59
271	22:30	131,14	126,64	129,82		111,7		68,47	63,67	65,01
272	22:35	130,48	128,06	130,36		111,63		68,28	63,92	65,25
273	22:40	131,38	127,71	130,6		111,88		68,23	63,75	65,29
274	22:45	130,38	127,8	129,55		111,34		68,84	64,3	65,1
275	22:50	130,96	128,56	129,93		112,54		68,33	64,64	65,36
276	22:55	131,17	129	129,76		112,6		68,47	64,71	65,81
277	23:00	131,32	129,38	129,76		112,47		68,73	64,98	65,75
278	23:05	131,34	128,87	129,95		112,61		68,59	65,19	65,79
279	23:10	131,2	128,91	130,31		112,94		68,9	65,06	65,95
280	23:15	131,19	128,92	130,47		112,54		68,54	64,74	66,01
281	23:20	131,29	128,23	130,48		112,35		68,97	65,38	65,53
282	23:25	131,69	128,18	130,67		111,95		69,32	64,93	65,6
283	23:30	131,68	128,21	130,37		112,19		68,88	65,19	65,88
284	23:35	131,29	127,45	130,33		112,32		69,24	64,75	66,34
285	23:40	131,84	127,71	130,55		112,91		69,17	64,97	66,72
286	23:45	131,32	128,92	130,84		112,73		69,23	65,25	66,43
287	23:50	130,93	129,14	130,92		112,8		69,41	65,76	66,76
288	23:55	130,92	129,47	130,53		112,25		69,61	65,23	66,96

На рис.3.3 подано декілька добових графіків природного електричного поля, зареєстрованого на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище", а саме: за 19.07.2017р., 21.07.2017р., 23.07.2017р., 25.07.2017р., 28.07.2017р., 29.07.2017р.

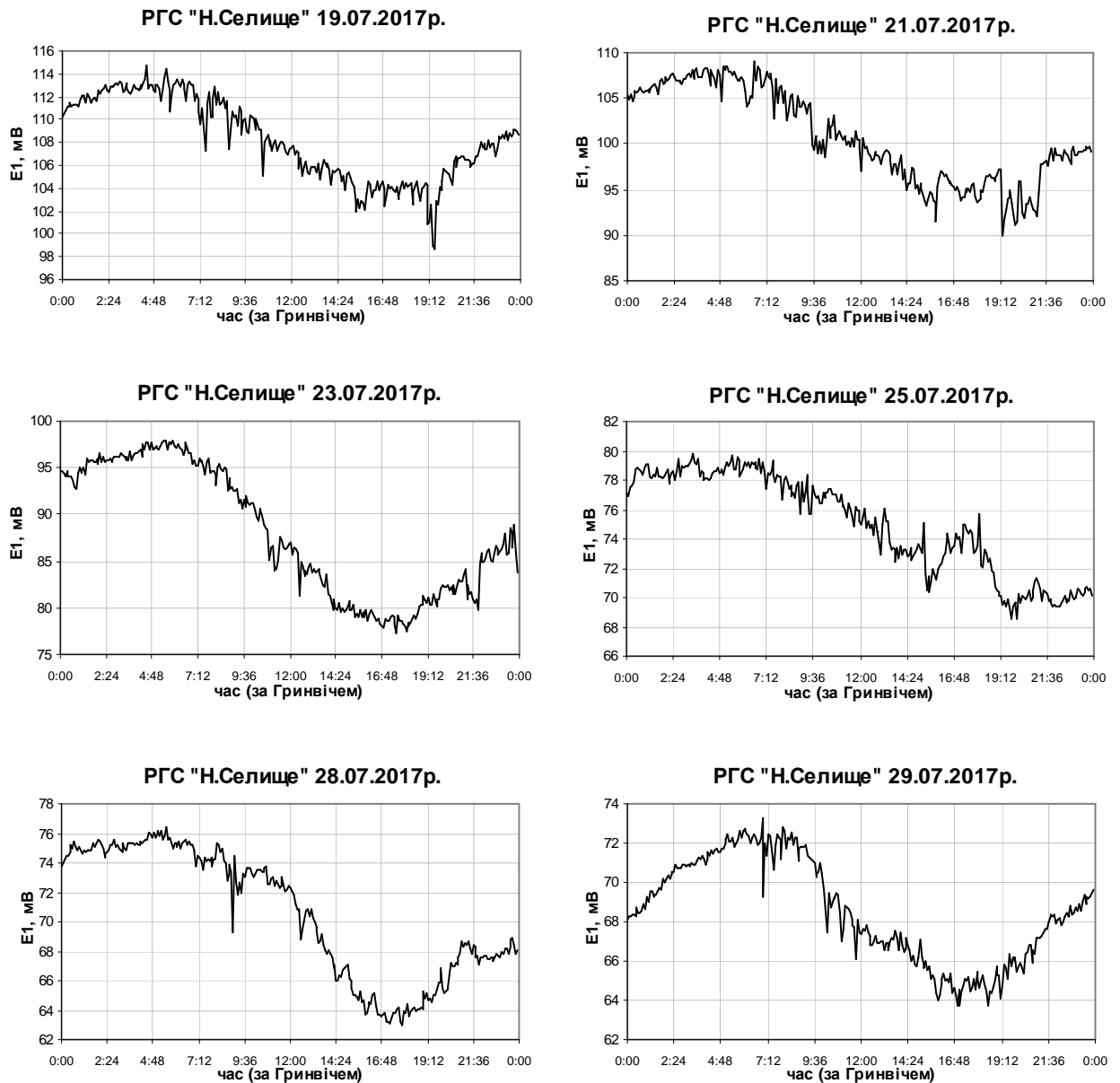


Рисунок 3.3 – Подобові графіки природного електричного поля, зареєстрованого на режимній геофізичній станції "Нижне Селище" за 19.07.2017р., 21.07.2017р., 23.07.2017р., 25.07.2017р., 28.07.2017р., 29.07.2017р.

Враховуючи значний обсяг зареєстрованих даних, всі подобові графіки за місяць липень 2017 року (01.07.2017р. – 31.07.2017р.) представлені скриншотом у Додатку Б, уривок - на рис.3.4.

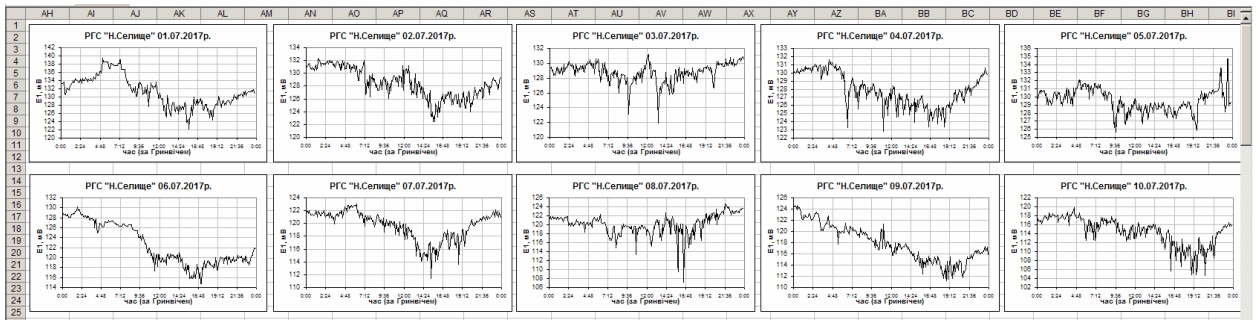


Рисунок 3.4 – Подобова динаміка показників природного електричного поля, зареєстрованого на режимній геофізичній станції ”Нижнє Селище” у липні 2017 року (уривок)

Характерним нюансом є те, що фактично, дані таких спостережень є процесом випадковим неперервно-дискретним, або, іншими словами, їх можна віднести до категорії нестационарних еквідистантних часових рядів. В цьому випадку, обробка такого часового ряду потребує побудови математичної моделі, яка має характеризувати його загальну тенденцію та відповідні параметри його структури [96, 97].

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.3.3, рис.3.4, рис.3.5). Це може бути пов'язане з електрохімічними процесами на електродах, в землі, з метеорологічними явищами.

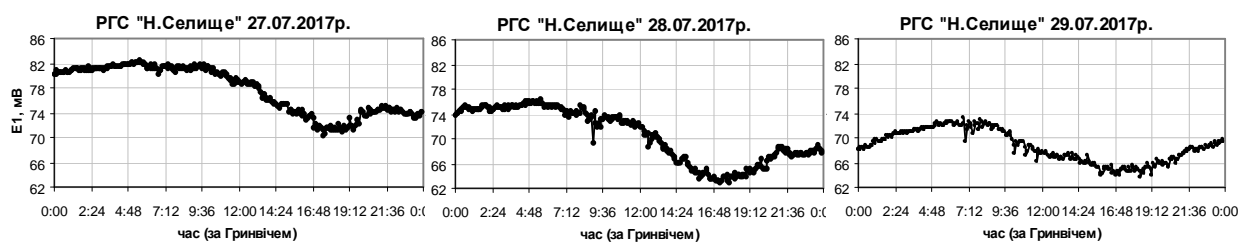


Рисунок 3.5 – Зафіксовані дані ПЕП (3 доби поспіль)

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 у вигляді графіку еквідистантного часового ряду, зображеного на рис.3.6. Графічне подання дає загальний вигляд його структури, вказує на характер і вид стаціонарності та коливальну складову. Даний ряд можна формально представити як множини $Y(t) = \{ y_j : y_j = y(t_j), j = 1, 2, \dots, 288, t_j = 5 \text{ min}, t_j \in T \}$ впорядкованих в часі випадкових величин і характеризувати його як лінійно нестационарний, з добовою періодичністю, тривалістю $\Delta t = 288 \cdot 5 \text{ min} = 24 \text{ hour}$, де T – множина 5-хвилинних інтервалів часу [98].



Рисунок 3.6 – Значення природного електричного поля, зареєстрованого на РГС ”Нижнє Селище” протягом 1 місяця

З огляду на те, форма рівнів досліджуваного часового ряду повторюється, то відмінності у її поведінці можна оцінити, використовуючи значення коефіцієнтів моделі, якою апроксимують добові рівні. В даному

випадку, візуально, тренд добових значень має точку перегину, яка переважно припадає на середину доби.

Функцією для апроксимації подібних даних, 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 третього степеня, представлені на рис.3.7, де подано декілька побудованих ліній тренду із зазначеними математичними моделями $y = f(x)$ та коефіцієнтами детермінації R^2 для шістьох діб зареєстрованого природного електричного поля на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище", а саме: за 19.07.2017р., 21.07.2017р., 23.07.2017р., 25.07.2017р., 28.07.2017р., 29.07.2017р.

Крок 2. Пошук для кожної доби місяця коефіцієнтів моделей тренду, які були побудовані подобово 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 подобового тренду для одного місяця цілком і представлені їх значення на одному графіку.

Для цього на даному кроці будувалися лінії тренду для даних за місяць липень 2017 року (01.07.2017р. – 31.07.2017р.), тобто за 31 добу (Додаток В). На рис.3.8 представлено частину графіків апроксимованих трендів згаданих подобових даних з аналітичним виразом математичних моделей $y = f(x)$ та коефіцієнтами детермінації R^2 для кожного з них.

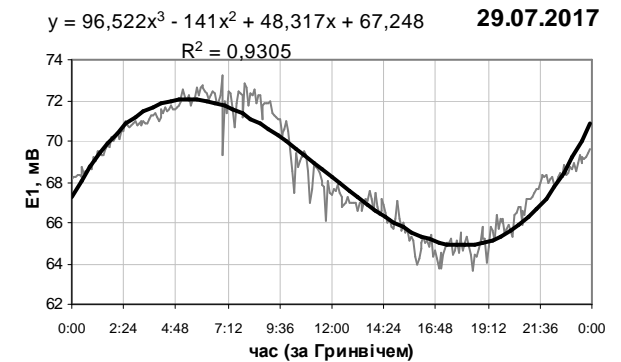
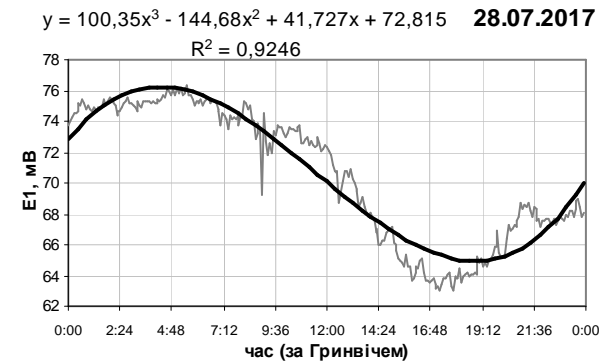
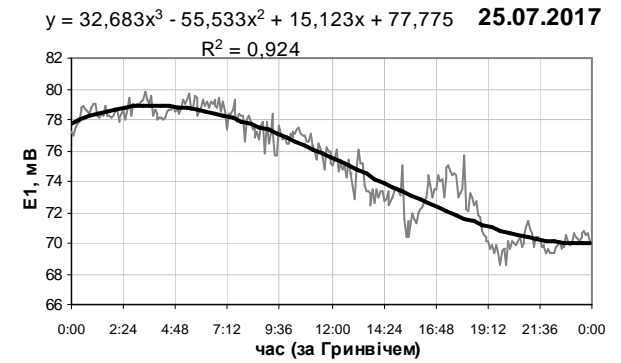
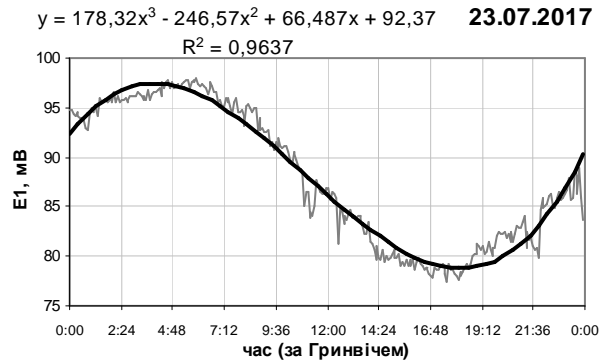
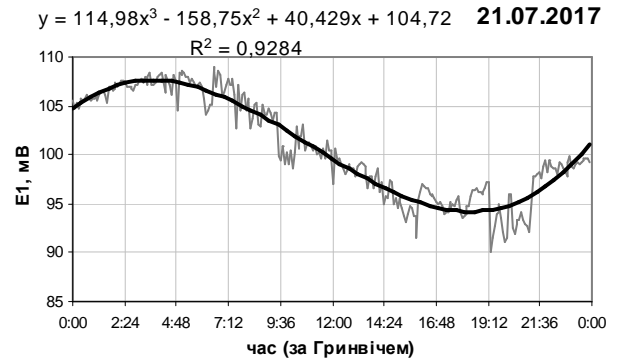
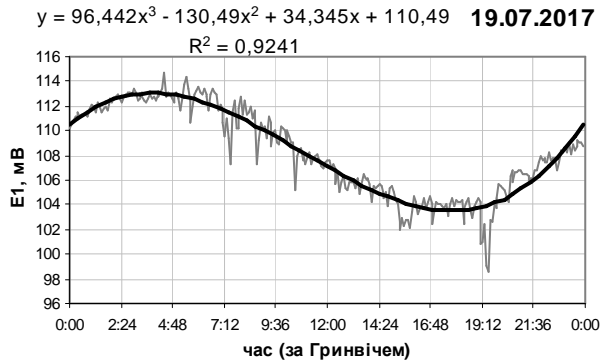


Рисунок 3.7 – Тренди подобових даних, апроксимовані поліномами третього степеня для значень природного електричного поля, зареєстрованого на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище" за 19.07.2017р., 21.07.2017р., 23.07.2017р., 25.07.2017р., 28.07.2017р., 29.07.2017р.

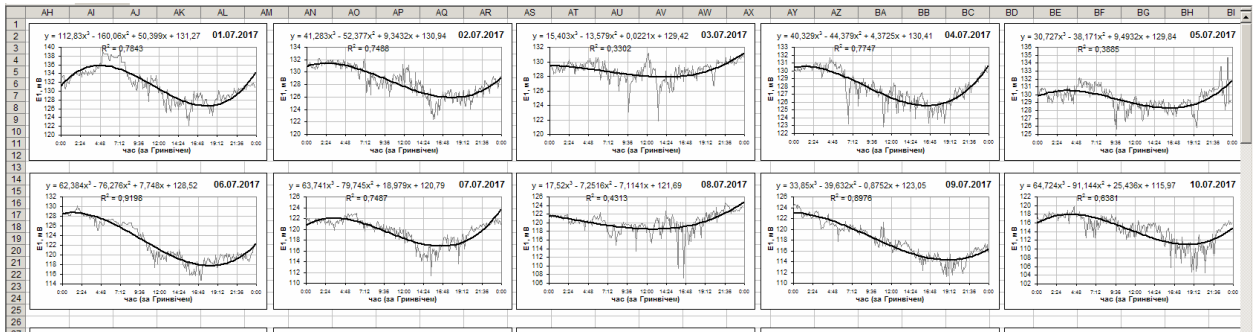


Рисунок 3.8 – Апроксимовані тренди добових даних ПЕП з РГС ”Нижнє Селище” за місяць липень 2017 року (01.07.2017р. – 31.07.2017р.) (уривок)

В табл.3.3 представлені значення коефіцієнтів апроксимуючих поліномів a_j , де $j = 0, 1, 2, 3$ та коефіцієнти детермінації R^2 для 31 доби (уривок), повна таблиця з результатами апроксимації даних для одного місяця добово – у Додатку Г.

Таблиця 3.3

Результати апроксимації даних для одного місяця добово

Доби з/п	Коефіцієнти поліному				R^2	Середнє \bar{Y}
	a_3	a_2	a_1	a_0		
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
3	15,403	-13,579	0,0221	129,42	0,3302	128,75
4	40,329	-44,379	4,3725	130,41	0,7747	127,89
5	30,727	-38,171	9,4932	129,84	0,3885	129,55
....
26	46,827	-74,739	39,861	69,163	0,8854	75,87
27	78,867	-122,61	40,22	78,737	0,9224	77,70
28	100,35	-144,68	41,727	72,815	0,9246	70,54
29	96,522	-141	48,317	67,248	0,9305	68,53
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: міри центральної тенденції та міри варіації.

Отримані геофізичні дані, які представляють значення динаміки показників природного електричного поля, тобто вибірка $X = \{x: x_1, x_2, \dots, x_n \ \& \ n = 288\}$ характеризує його значення протягом доби. Найбільш поширеними в даному випадку методами попередньої

обробки даних є методи визначення показників описової статистики [99-101]. Ці показники описують і подають основні статистичні властивості даних, дозволяють узагальнювати первинні результати і застосовуються щоб: показати загальне в характері сукупності даних та зазначити наскільки і в чому ці дані відрізняються між собою.

Використаємо: для вирішення першої задачі – показники центральної тенденції: середнє арифметичне, медіана, мода, а для вирішення другої – це показники варіації, в яку включено: середньоквадратичне відхилення, розмах (інтервал) [98].

За даними природного електричного поля за липень 2017р. (табл.3.2) у даному дослідженні, проведеному методами описової статистики, отримані результати розрахунків зведені в табл.3.4 (уривок), повна таблиця з даними – у Додатку Д.

Таблиця 3.4

Результати розрахунку показників описової статистики

Дата	День з/п	Показники описової статистики					
		Міри центральної тенденції			Міри варіації		
		середнє арифметичне	медіана	мода	стандартне відхилення	розмах (інтервал)	коефіцієнт варіації
01.07.2017	1	131,32	131,09	138,53	3,66	17,17	0,03
02.07.2017	2	128,48	128,57	128,92	2,32	9,77	0,02
03.07.2017	3	128,75	128,94	129,00	1,34	9,27	0,01
04.07.2017	4	127,89	127,77	130,51	2,03	8,83	0,02
05.07.2017	5	129,55	129,49	130,66	1,40	9,05	0,01
06.07.2017	6	122,58	120,61	126,56	4,16	15,38	0,03
07.07.2017	7	119,63	120,30	121,29	2,25	11,61	0,02
...	
28.07.2017	28	70,54	71,87	75,16	4,31	13,35	0,06
29.07.2017	29	68,53	68,40	68,24	2,59	9,54	0,04
30.07.2017	30	65,88	66,38	71,88	5,92	18,26	0,09
31.07.2017	31	65,26	65,56	65,79	4,78	16,93	0,07

Результати розрахунку характеризують центральну тенденцію протягом одного місяця і варіацію даних впродовж того ж місяця. Інші показники описової статистики: стандартна помилка, асиметрія, ексцес, мінімум, максимум, сума та кількість в даному дослідженні не використовувались. Справа в тому, що стандартна помилка тут визначається відношенням $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, де σ , n – середньоквадратичне відхилення та кількість

даних відповідно. Оскільки для усіх подобових даних кількість однакова, то в даному випадку цілком достатньо в якості показника варіації середнього квадратичного відхилення.

Враховуючи суттєву відмінність значень показників середнього, моди, медіани від показників середньоквадратичного відхилення, коефіцієнта варіації та розмаху, усі згадані значення були приведені у межах своїх вибірок до одиничного інтервалу за формулою: $\tilde{x} = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$, де $\tilde{x} \in [0, 1]$ –

приведене до одиничного інтервалу значення x_i .

Результати такого нормування подані у табл.3.5.

Таблиця 3.5

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
03.07.2017	3	0,96	0,97	0,87	0,00	0,03	0,01
04.07.2017	4	0,95	0,95	0,89	0,11	0,02	0,02
05.07.2017	5	0,97	0,98	0,89	0,01	0,02	0,01
06.07.2017	6	0,87	0,84	0,84	0,46	0,19	0,03
07.07.2017	7	0,82	0,84	0,76	0,15	0,09	0,02
08.07.2017	8	0,83	0,84	0,75	0,15	0,25	0,02
09.07.2017	9	0,80	0,79	0,75	0,31	0,14	0,03
10.07.2017	10	0,75	0,76	0,69	0,30	0,19	0,03
11.07.2017	11	0,67	0,66	0,59	0,53	0,33	0,04
12.07.2017	12	0,72	0,72	0,65	0,02	0,04	0,01
13.07.2017	13	0,71	0,71	0,64	0,08	0,17	0,02
14.07.2017	14	0,68	0,68	0,66	0,28	0,11	0,03
15.07.2017	15	0,68	0,69	0,63	0,03	0,00	0,01
16.07.2017	16	0,65	0,66	0,63	0,20	0,10	0,02
17.07.2017	17	0,64	0,65	0,62	0,26	0,20	0,03
18.07.2017	18	0,65	0,66	0,61	0,23	0,39	0,03
19.07.2017	19	0,65	0,65	0,65	0,36	0,21	0,03
20.07.2017	20	0,58	0,56	0,63	0,69	0,46	0,05
21.07.2017	21	0,54	0,52	0,45	0,61	0,29	0,05
22.07.2017	22	0,44	0,41	0,47	0,76	0,50	0,06
23.07.2017	23	0,34	0,32	0,43	0,91	0,33	0,08
24.07.2017	24	0,21	0,18	0,30	1,00	1,00	0,09
25.07.2017	25	0,15	0,15	0,06	0,34	0,08	0,05
26.07.2017	26	0,16	0,16	0,15	0,18	0,07	0,03
27.07.2017	27	0,19	0,21	0,21	0,40	0,10	0,05
28.07.2017	28	0,08	0,10	0,13	0,48	0,14	0,06
29.07.2017	29	0,05	0,04	0,03	0,20	0,03	0,04
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.

На даному кроці використано підхід – подання значень коефіцієнтів поліному (табл.3.3) на одному графіку (рис.3.9). Особливість результатів полягає у тому, що тут існують специфічні точки, в яких абсолютні значення коефіцієнтів a_j , де $j = 0, 1, 2, 3$ мають дуже близькі значення.

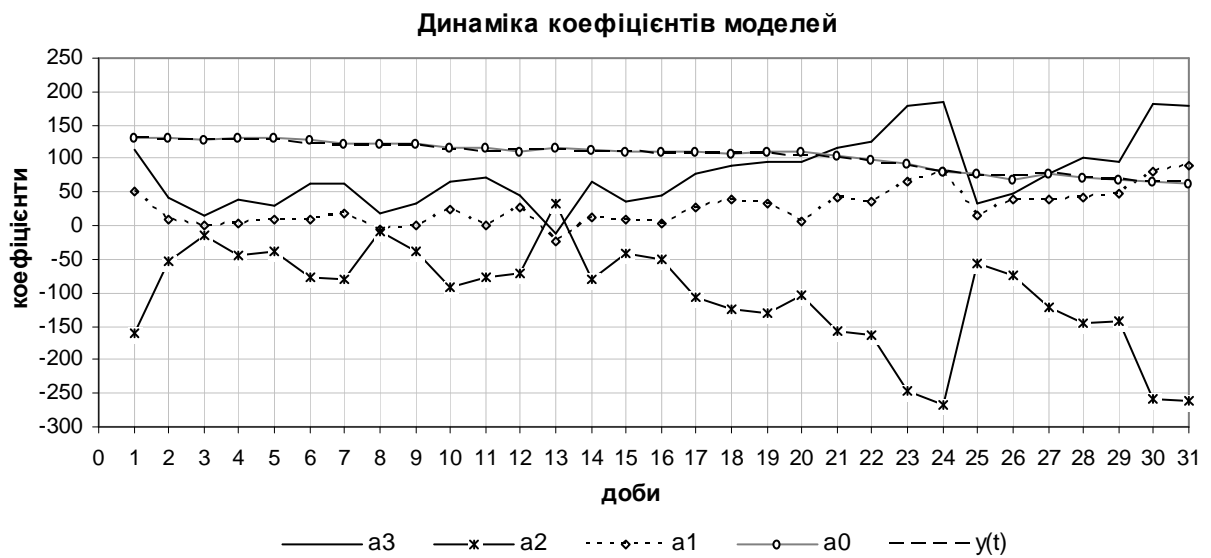


Рисунок 3.9 – Зміна коефіцієнтів моделей для кожної доби місяця

Оскільки другий коефіцієнт a_2 є від'ємним, в результаті цього маємо симетричність графіків відносно осі OX для коефіцієнтів a_2 і a_3 . Якщо подати даний графік не реальними значеннями, а абсолютними, тобто представити значення всіх коефіцієнтів a_j як абсолютні значення $|a_j|$, графік матиме вигляд, зображений на рис.3.10.

Візуальний аналіз рис.3.10 свідчить про те, що на графіках є особливі точки, де коефіцієнти моделі збігаються. Проте, ці збіги є не регулярними і не абсолютними, тобто повний збіг не завжди має місце. Для таких днів як 3, 8, 13 і 25 збіги є доволі близькі.

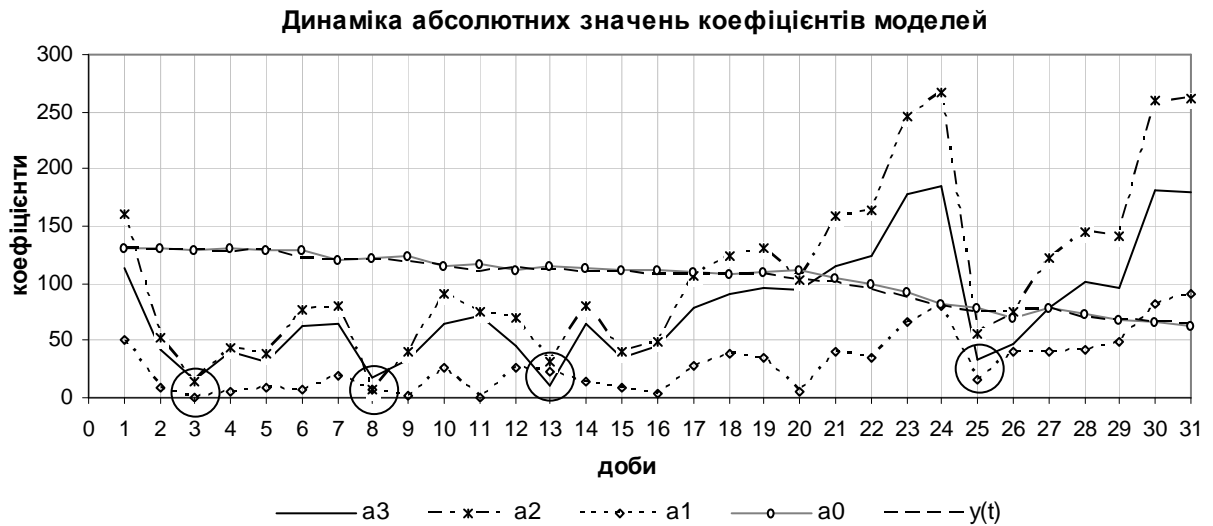


Рисунок 3.10 – Зміна абсолютних коефіцієнтів моделей для кожної доби місяця

Коефіцієнт a_0 є дуже близьким до середнього арифметичного $y(t)$ для кожної доби місяця. Його поведінка, як видно з графіків на рис.3.9 чи рис.3.10, є доволі монотонною і відносно гладкою. В порівнянні з іншими місяцями прослідковується певна коливальність цього показника з періодом декілька місяців. Подання поведінки коефіцієнтів a_i моделі на одному графіку вказує на те, що a_2 і a_3 змінюються пропорційно, і на деяких етапах їх повторює показник a_1 . Отже, для деяких діб існує подібність в структурах апроксимуючих моделей. Оскільки якість апроксимації за коефіцієнтом детермінації $R^2 > 0.89$, то можна сказати, що відповідність моделі зареєстрованим добовим значенням є достатньою для використання даного підходу – встановлення специфічних точок динаміки природного електричного поля на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище".

Результати нормування показників описової статистики (табл.3.5), представлені на рис.3.11. Таке графічне подання результатів також виявило певні збіги показників для деяких діб. Наприклад, для показників центральної тенденції особливими можна вважати доби: 1, 6, 14, 19, 29. Для

показників варіації особливими виявились наступні доби: 3, 5, 12, 15, 29 [102].

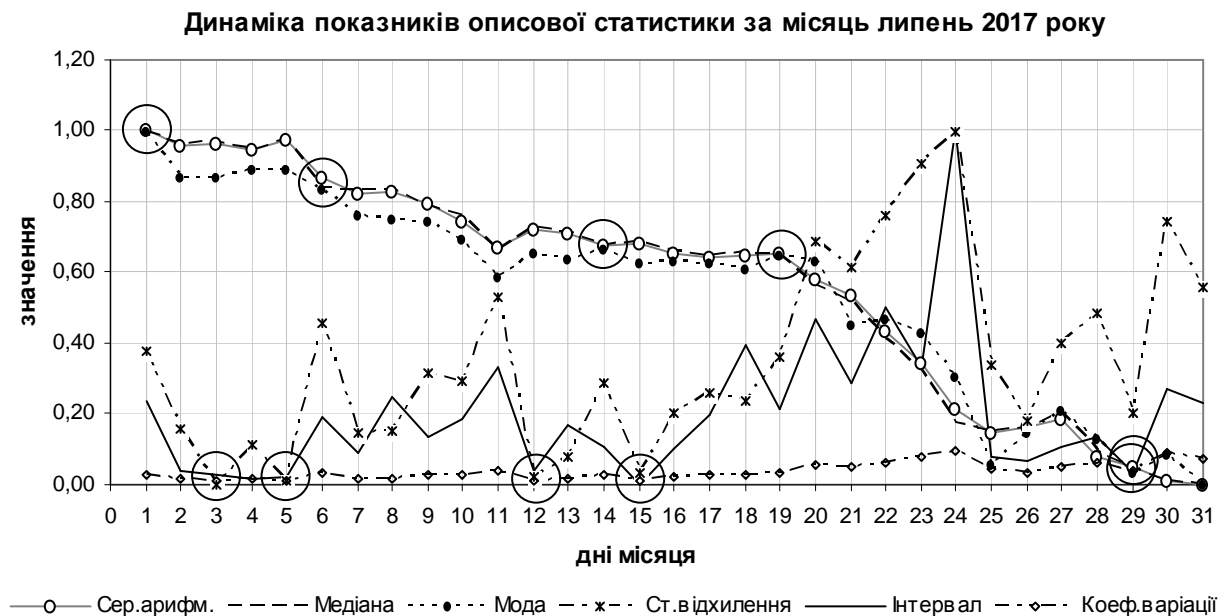


Рисунок 3.11 – Динаміка показників описової статистики впродовж місяця

Візуальний аналіз графіків (як у випадку з коефіцієнтами моделі (рис.3.10), так і зі статистичними параметрами (рис.3.11)) вказує на особливі точки-доби, де значення коефіцієнтів моделі та показників описової статистики 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 подобову 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.

3.2. Розроблення алгоритмів та програмних засобів візуалізації польових даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

Польові дослідження проводяться з метою вивчення геологічного середовища тих чи інших територій, районів чи ділянок певними електромагнітними методами. З урахуванням специфіки таких робіт і реєстрація, і збір геофізичної інформації згаданих досліджень має періодичний характер.

Для демонстрації тих чи інших операцій з даними польових досліджень скористаємось результатами спостережень надійності земляного насипу дамби хвостосховища Стебницького родовища калійних солей.

Дослідження проводилися методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні, модифікація "петля в петлі". Принцип і методика проведення досліджень методом ЗСБ, а також – реєстрація та збір первинних даних детально описані у розділі 2.

Проходячи послідовно пікет за пікетом увесь профіль по верхній частині дамби, отримали таким чином усю необхідну геофізичну інформацію, що характеризує загальну картину про досліджуваний об'єкт.

У подальших маніпуляціях використовуються усереднені значення вимірів на кожній точці спостережень (табл.3.6) (уривок), повна – Додаток Е.

В ході польових досліджень було опрацьовано 95 точок спостережень. Враховуючи значний обсяг даних, у таблиці подана лише частина результатів спостережень, тобто 20 пікетів.

Таблиця 3.6

Усереднені дані перехідних процесів методу ЗСБ, отримані на профілі
вздовж дамби хвостосховища Стебницького родовища калійних солей

ч а с и	ТОЧКИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ / ПІКЕТИ																			
	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
	pk01	pk02	pk03	pk04	pk05	pk06	pk07	pk08	pk09	pk10	pk11	pk12	pk13	pk14	pk15	pk16	pk17	pk18	pk19	pk20
1										17170	19720	18760	19265	18655			18750			19115
2	9550	12985				10270		15765	12250	9530	7280	8810	9200	8475	7450	9165	8305	10730	10170	8545
3	5115	7730				6685	12700	10365	6685	4870	4355	5165	6170	5020	4315	5600	5120	6680	6285	5270
4	3480	5220				4970	9345	7550	4570	2985	3105	3580	4675	3485	3045	4040	3725	4785	4385	3835
5	2650	3995			16170	3965	7190	5595	3410	2035	2400	2700	3750	2625	2330	3145	2905	3660	3260	2995
6	2150	3230		17290	13750	3225	5700	4325	2655	1480	1945	2125	3090	2080	1870	2540	2380	2905	2515	2415
7	1805	2705	18785	14425	11880	2685	4600	3435	2130	1125	1630	1725	2590	1705	1535	2120	1990	2365	1990	1985
8	1540	2315	16360	12600	10410	2265	3760	2790	1750	846,5	1390	1435	2205	1430	1285	1795	1700	1960	1620	1665
...		
180	2,75	4,05	48	33,5	12,25	0,4	1,6	1,6	1,25	1,8	5,75	2,25	1	6,5	10,35	2,4	2	3,3	3,25	0,95
200	2,45		35	25	9	0,01		1,2		1,35	5			5,5	9			2,75	2,5	
220			26,5	18,5	7			0,85												
240			20,5	14,5	5,5															
260			16	11,25	4,5															
280			12,5	8	3,75															
300			10	7,25	3,25															
350			6,5	4,9	2,5															
400			4	3,75																

Візуальний аналіз первинних даних найкращим чином проводити на основі графіків кривої становлення $E(t)$ у лінійному масштабі. З вигляду таких графіків можна судити про якість вимірних даних, тобто наскільки вони є придатні для подальшого опрацювання.

Для цього спеціально був розроблений модуль візуалізації первинних геофізичних даних [103]. До основних функціональних можливостей належить:

- формування карти польових робіт і схематичне розташування пікетів профілю на карті за їх географічними координатами (longitude, latitude);
- формування списку усіх пройдених пікетів по профілю;
- вивід масивів зареєстрованих значень поля перехідних процесів на вибраному пікеті;
- побудова кривої становлення $E(t)$ за даними на вибраному пікеті.

Скриншот головного вікна програми зображений на рис.3.12.

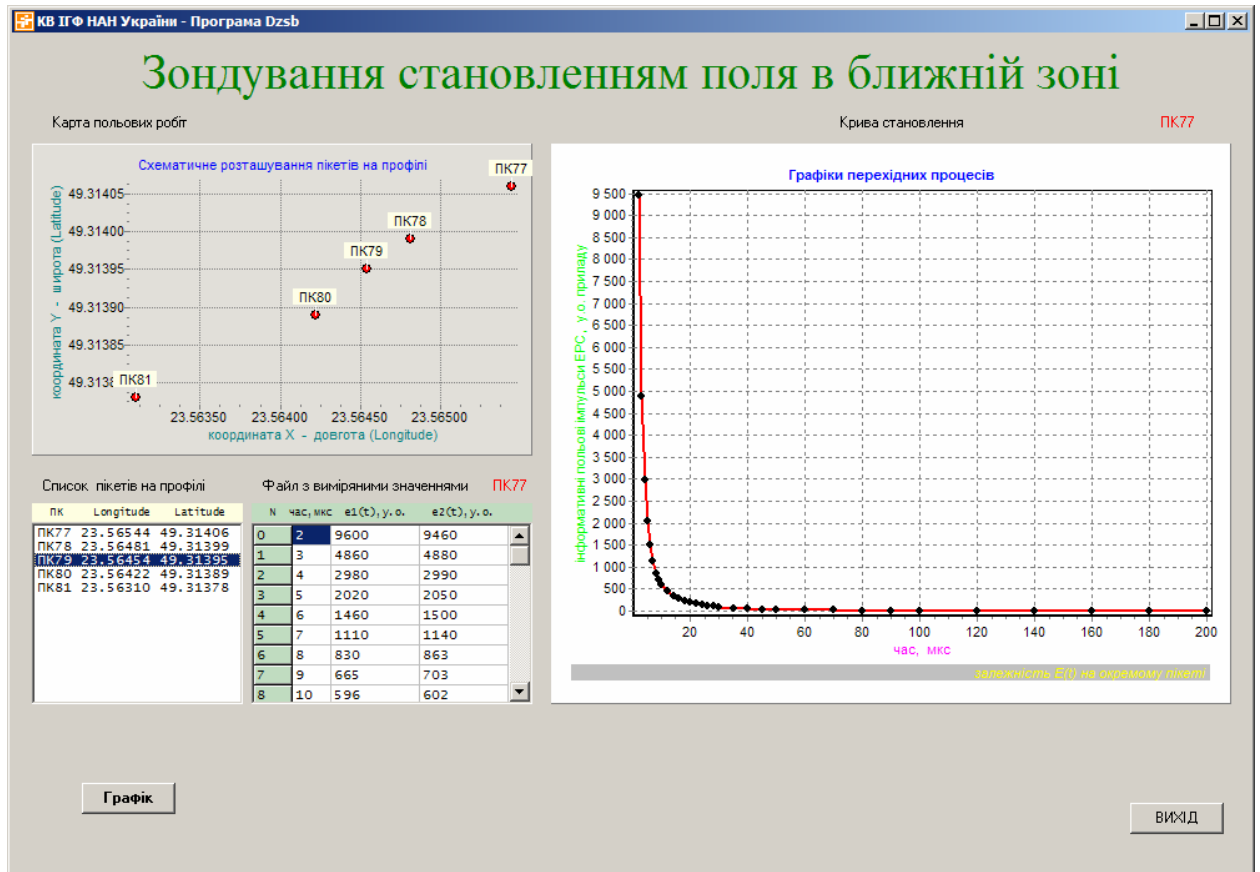


Рисунок 3.12 – Головне вікно (головна форма) модуля візуалізації з п'ятьма пікетами стебниківського профілю: 77, 78, 79, 80, 81

В ході виконання польових робіт на кожній точці спостережень формується файл із зареєстрованими інформаційними сигналами ЕРС. Поступово проходячи пікет за пікетом усі дані у вигляді окремих файлів заносяться у спеціально виділену директорію. Будова файлів має чітко визначену структуру, її детальний опис викладений у розділі 2, блок-схема алгоритму роботи програми представлена на рис.3.13, детальний опис алгоритму роботи програмного модуля візуалізації – у Додатку Є.

Програма працює на будь-якому етапі польових вимірів, тобто як з даними одного пікету, так і зі всіма пікетами профілю одночасно. З її допомогою користувач має можливість наочно бачити всі результати реєстрації поля перехідних процесів, візуально оцінювати якість спостережень, а також безпосередньо аналізувати характер і вигляд кривих зондувань $E(t)$.

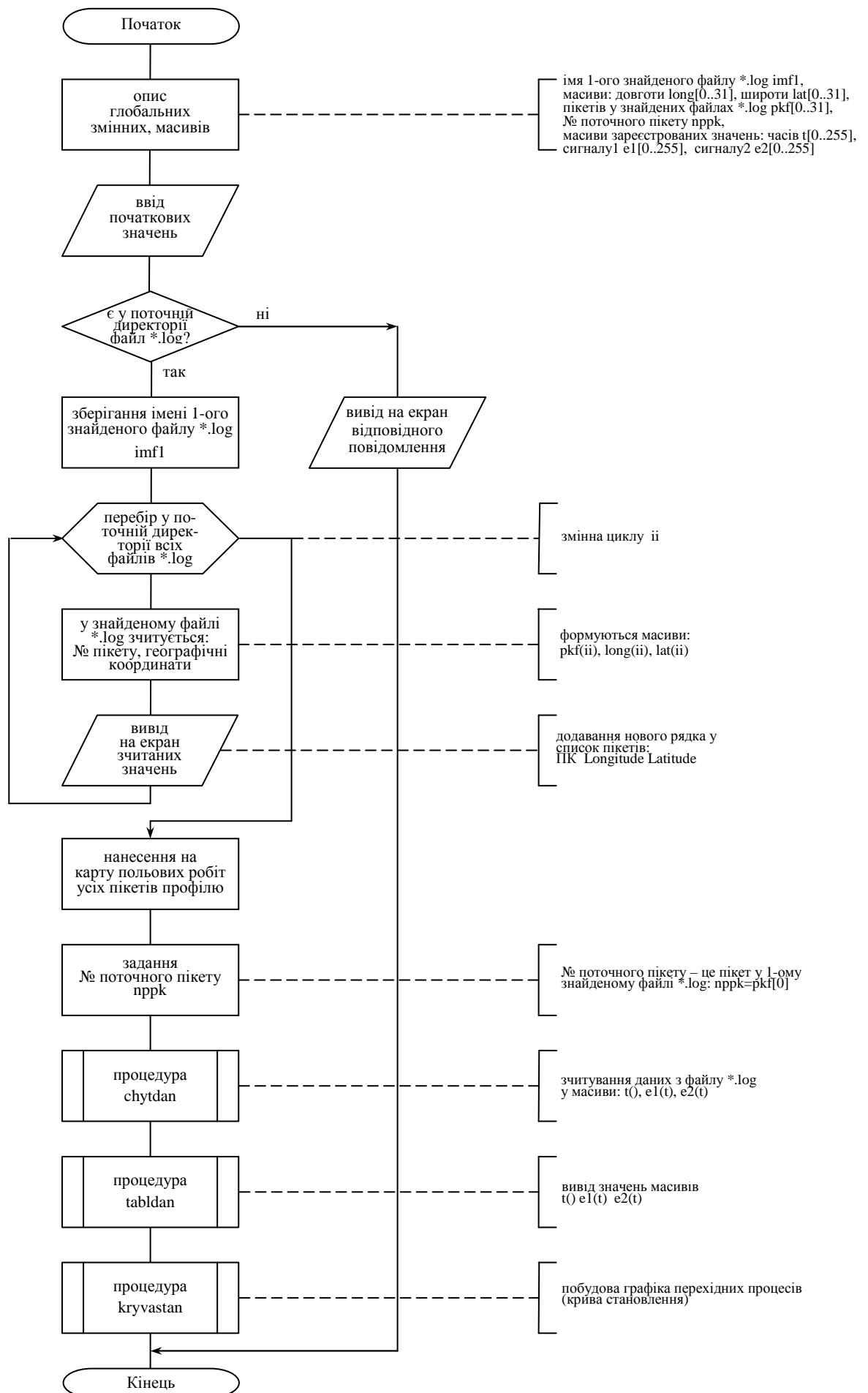


Рисунок 3.13 – Блок-схема алгоритму роботи модуля візуалізації даних

Подання первинних польових даних у лінійному і білогарифмічному масштабі дозволяє зробити певні висновки про вимірювання на поточній точці спостережень, а саме:

- з графіків залежності $E(t)$ у лінійному масштабі можна судити про якість вимірюваних експериментальних даних на конкретній точці спостережень і говорити про те наскільки вони є придатні для подальшої обробки;
- з графіків залежності $E(t)$ у білогарифмічному масштабі – у першому наближенні судити про розбиття геоелектричного розрізу на окремі горизонти. Точки згину кривих – орієнтовні границі шарів.

Для автоматизованої побудови таких кривих була розроблена програма точкової візуалізації [104]. Скриншот головного вікна програми зображений на рис.3.14.

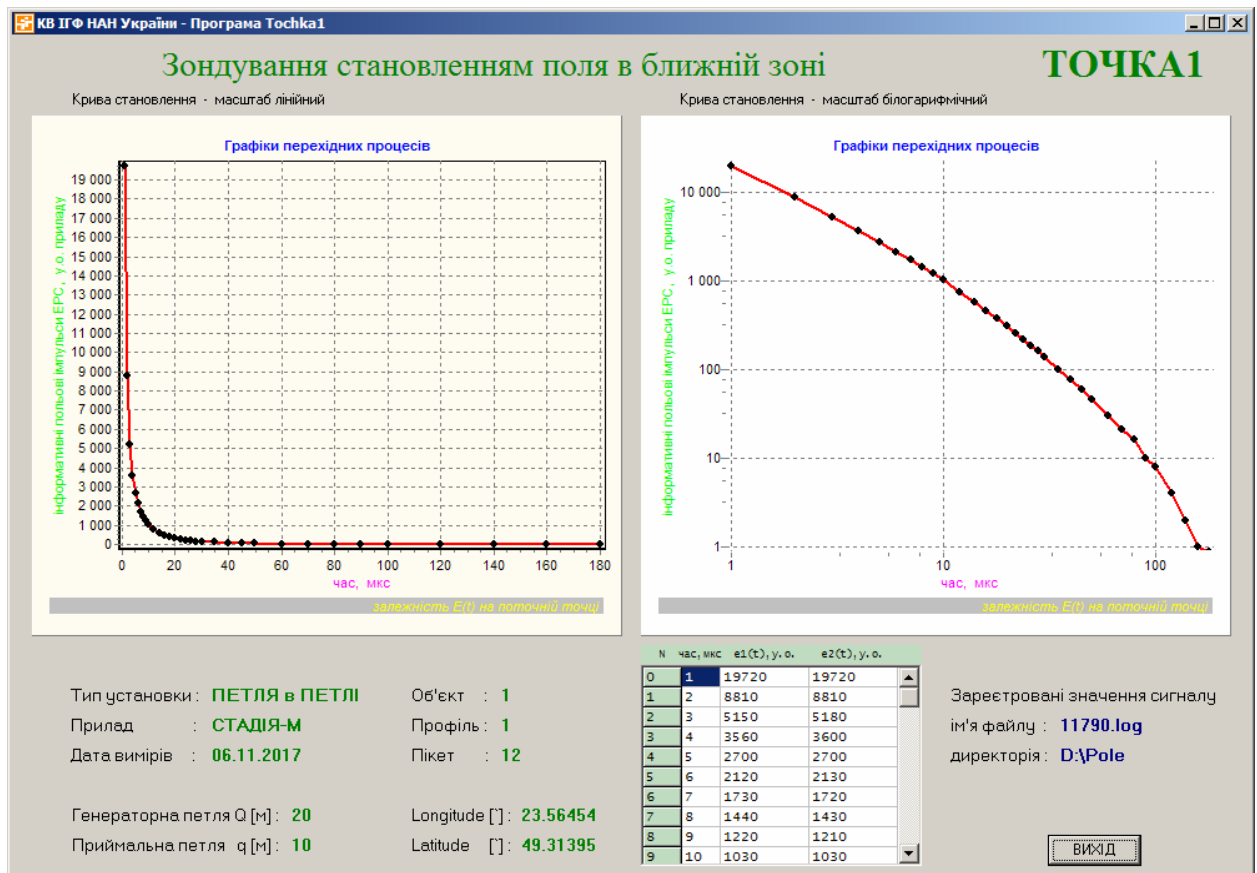


Рисунок 3.14 – Головне вікно (головна форма) програми точкової візуалізації з даними пікету 12 стебниківського профілю (79 точка)

Блок-схема алгоритму роботи програми представлена на рис.3.15.

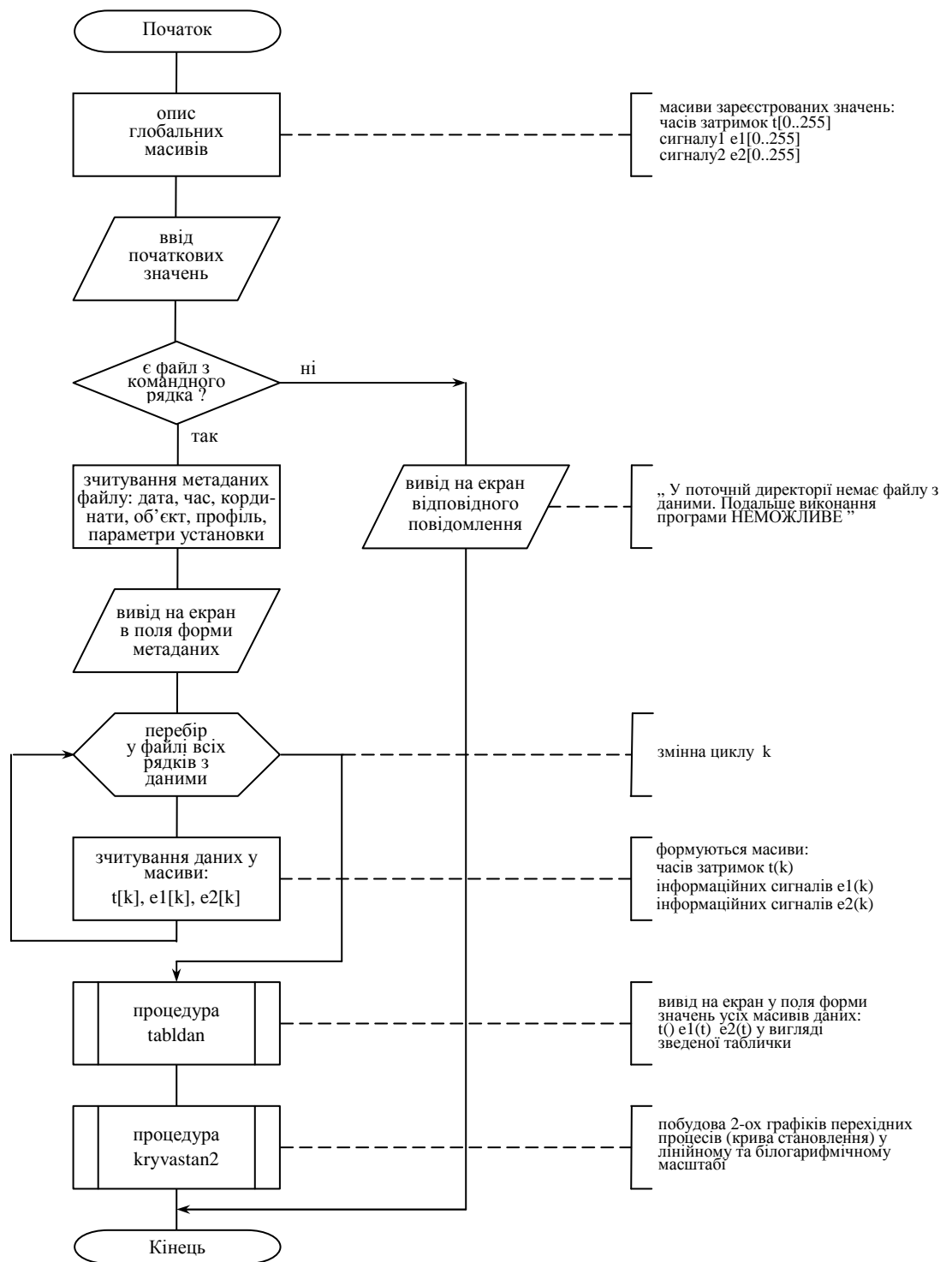


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритму роботи модуля токової візуалізації

Головне вікно модуля містить такі об'єкти:

- 1) таблицю з масивами зареєстрованих польових даних;
- 2) графіки кривих становлення $E(t)$ у лінійному та білогарифмічному

масштабах;

- 3) додаткові відомості: дата проведення вимірів, номер об'єкту, профілю, пікету, географічні координати точки, розміри генераторної та приймальної петель;
- 4) службову файлову інформацію: ім'я файлу з результатами польових вимірів на даній точці спостережень, ім'я поточної робочої директорії.

Програма працює з даними методу ЗСБ, що знаходяться у будь-якій директорії, і будує графіки у лінійному та білогарифмічному масштабах за даними вказаного пікету.

3.3. Класичне опрацювання та інтерпретація даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та їх недоліки

Вивчення локальних регіонів методами електророзвідки проводиться у кілька етапів, починаючи від реєстрації та збору первинних геофізичних даних і закінчуючи остаточними висновками про досліджуваний об'єкт. Важливими складовими геофізичних досліджень є обробка даних та інтерпретація результатів, яка полягає в уточненні та тлумаченні отриманої інформації.

Класична інтерпретація польових даних методу ЗСБ є складною і тривалою процедурою, котра передбачає виконання багатокрокових, поетапних, послідовних розрахунків і розв'язків прямих та обернених задач [94, 95, 25, 27]. При цьому пряма задача зводиться до вивчення параметрів поля (електричного або електромагнітного) для наперед заданої моделі геоелектричного розрізу. Пряма задача може розв'язуватись аналітичним способом з використанням положень теорії електромагнітного поля, шляхом математичного або фізичного моделювання. Розв'язок обернених задач є не лише значно складнішим, але і, як правило, неоднозначним. Окрім складних розрахунків, обов'язково враховується і апіорна геолого-геофізична

інформація. Для цього спершу проводиться формальна інтерпретація, а потім – остаточна з урахуванням геологічної будови району, довідкової геологічної інформації про ґрунти, вивчення геологічних карт, інших геолого-картографічних матеріалів, індивідуальних чи характерних особливостей регіону досліджень і т.д.

Опрацювання даних ЗСБ полягає у тому, щоб за нормованими значеннями електрорушійної сили $E(t)$, котрі були зафіксовані на різних часах затримок перехідного процесу, знайти значення опору ρ_τ . За умови, коли геологічне середовище є однорідне, цей розрахований опір буде відповідати дійсному. Коли ж середовище неоднорідне (переважно це буває саме так) розрахований опір є позірним, тобто уявним, ефективним.

Для вимірювальної установки ”петля в петлі” позірний опір ρ_τ розраховується за формулою [75, 77, 81]:

$$\rho_\tau(t) = \frac{\mu_0}{\pi \cdot t} \cdot \left(\frac{Q \cdot q \cdot \mu_0}{20 \cdot t \cdot E(t)} \right)^{\frac{2}{3}},$$

де: Q, q – площі генераторної та приймальної петель (з урахуванням кількості витків), м^2 ;

t – час становлення, с;

$E(t)$ – нормована ЕРС у приймальній петлі, В/А;

I – сила струму в генераторній петлі, А;

μ_0 – магнітна проникність вакууму, $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$ Гн/м.

Графіки позірного опору будуються у білогарифмічному масштабі.

Інтерпретація даних ЗСБ починається з того, що оцінюють узагальнені параметри розрізу за кривими позірного опору (так звана якісна інтерпретація). Таку оцінку проводять за спеціальними формулами через побудову асимптот або за координатами мінімумів кривої позірного опору [25, 27, 76].

Далі для проведення кількісної інтерпретації даних ЗСБ можуть використовуватися як криві поздовжньої сумарної провідності, розраховані за спеціальними формулами, так і метод підбору. Він полягає у тому, аби підібрати такі параметри геоелектричного розрізу, щоб при розв'язанні прямої задачі теоретичні та експериментальні криві співпали якнайкраще.

Очевидно, що описана процедура обробки та інтерпретації результатів польових вимірювань потребує окрім сучасної комп'ютерної техніки з відповідним математичним апаратом і потужним програмним забезпеченням, ще й і чималих затрат часу і зусиль кваліфікованого персоналу.

3.4. Формальна інтерпретація даних зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні з представленням в часових розподілах

На даному етапі можна отримати детальнішу інформацію про геоелектричний розріз, розрахувавши для цього поздовжню сумарну провідність $S(h)$ та питомий електричний опір $\rho(h)$. Такий підхід щодо інтерпретації з використанням сумарної провідності та основні формули для обчислень були запропоновані у [75, 77].

Суть підходу полягала у тому, щоб для кожного значення часу затримок перехідного процесу t_i знайти значення S_i , ρ_i , h_i . А знаючи ці параметри – побудувати відповідні залежності поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та питомого електричного опору $\rho(h)$ від глибини h .

Вхідними даними для програми, що працює за описаним підходом, є два масиви зареєстрованих значень на пікеті: послідовність часів затримок перехідного процесу t_i та відповідні їм значення ЕРС у приймальній петлі q . Вихідні дані – розраховані $h(t_i)$, $S(t_i)$, $\rho(t_i)$ також у вигляді окремих масивів.

Для прикладу бралися криві становлення електромагнітного поля на пікеті pk08 стебниківського профілю (точка спостережень 75, табл.3.6) і

розраховувалися масиви h , S , ρ . Вхідні і вихідні дані подані у табл.3.7.

Таблиця 3.7

Вхідні та вихідні дані програми розрахунку (pk08, точка спостережень 75)

Вхідні дані		Вихідні дані		
t, мкс	ЕРС, мкВ/А	h, м	S, См	Ro, Ом
2	15765	7,08	0,19	187,14
3	10365	8,19	0,18	170,99
4	7550	9,14	0,18	95,11
5	5595	9,64	0,19	49,81
6	4325	10,07	0,21	32,03
7	3435	10,54	0,23	27,22
8	2790	10,94	0,24	29,47
9	2295	11,34	0,25	40,62
10	1915	11,97	0,26	69,12
12	1370	12,92	0,27	142,53
14	1015	14,02	0,27	261,19
16	775	15,13	0,27	217,14
18	582,5	16,13	0,28	125,79
20	461	16,92	0,29	84,36
22	371,5	17,65	0,30	68,63
24	303	18,54	0,31	68,46
26	250	19,25	0,32	83,43
28	208	19,91	0,33	131,83
30	176	21,05	0,33	233,56
35	118,5	23,25	0,33	248,21
40	84	25,26	0,34	147,46
45	59,95	26,74	0,36	99,18
50	46,2	28,35	0,39	82,31
60	28,9	31,11	0,42	75,42
70	19,5	34,12	0,45	72,11
80	13,65	36,19	0,50	75,54
90	10,2	37,80	0,52	93,34
100	7,7	41,28	0,53	124,16

За вихідними даними програми, тобто знайденими значеннями h , S , ρ будуються графіки поздовжньої сумарної провідності та питомого електричного опору від глибини: залежності $S(h)$ та $\rho(h)$ (рис.3.16).

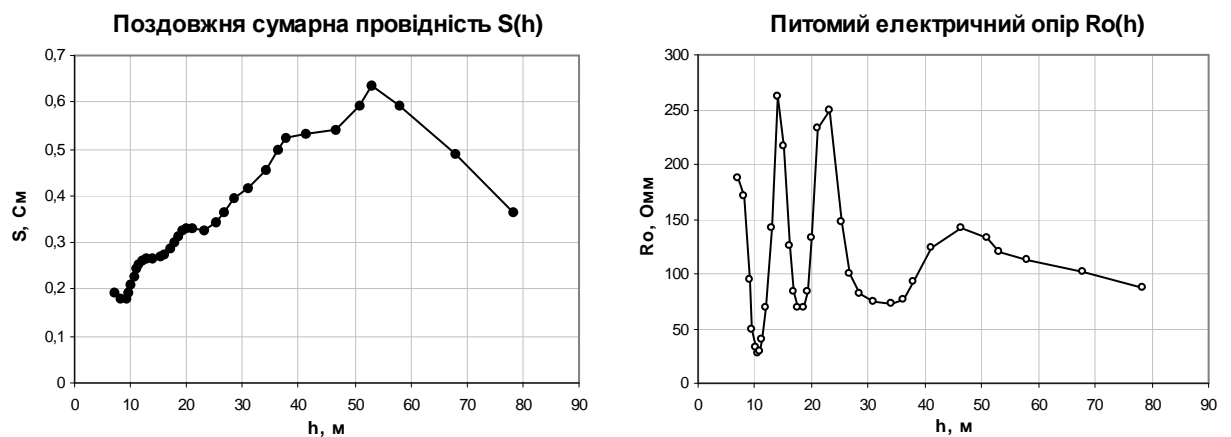


Рисунок 3.16 – Графіки сумарної провідності $S(h)$ та питомого опору $\rho(h)$

Інтерпретація отриманих графіків полягає в детальному аналізі одночасно обох кривих. Для максимальної наочності та зручності, а також найкращого розуміння і бачення загальної картини геологічного розрізу пропонується криву поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та криву питомого електричного опору $\rho(h)$ розмістити на одному графіку з використанням додаткової осі OY і вже на основі саме такого подання проводити візуальний аналіз (рис.3.17).

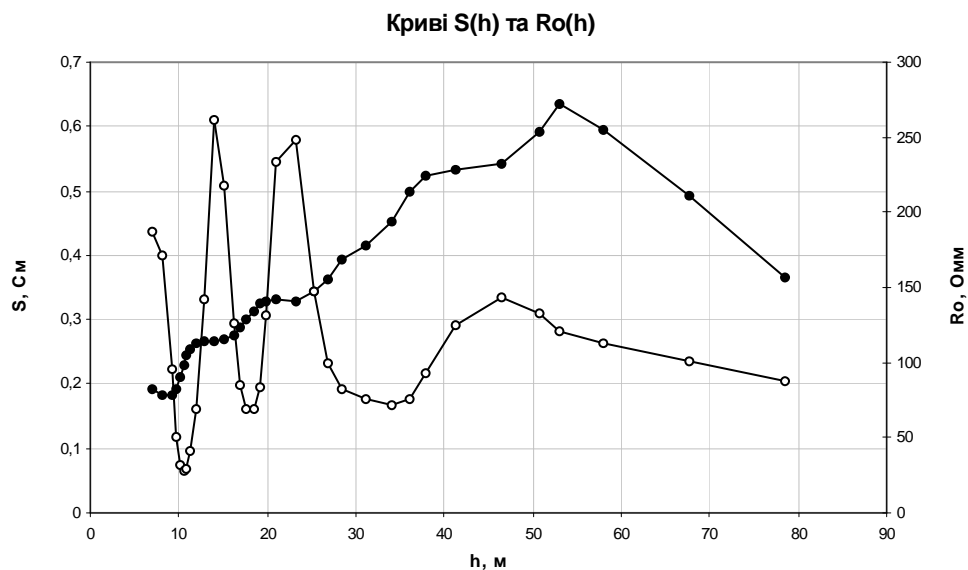


Рисунок 3.17 – Графіки поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ – чорні точки та питомого електричного опору $\rho(h)$ – прозорі кружечки

При інтерпретації отриманих графіків не беруться до уваги перші 2-3 точки, бо вони належать далекій та перехідній зоні (там формули розрахунку зовсім інші), та останні 3-4, оскільки на цих значеннях, зазвичай, рівень шуму більший за корисний сигнал. З урахуванням цього уточнення графіки з рис.3.17 матимуть вигляд як на рис.3.18 і у такому представленні їх можна вже інтерпретувати.

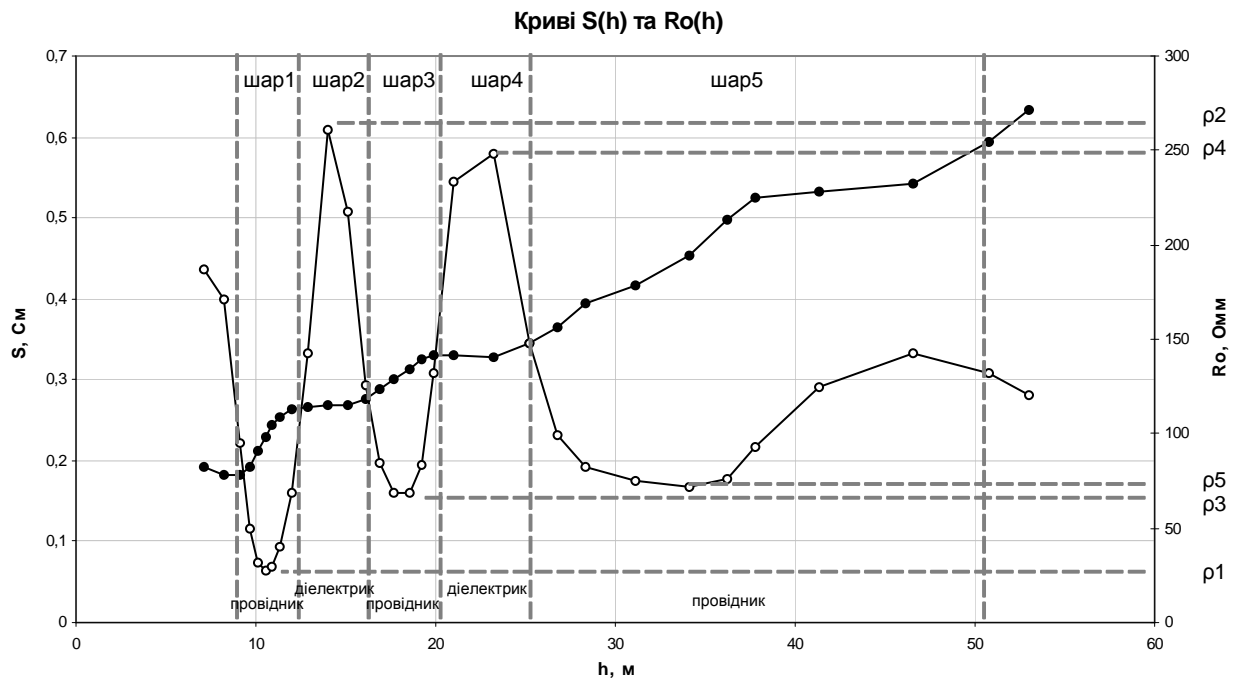


Рисунок 3.18 – Схематична інтерпретація графіків поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ – крива з чорними точками та питомого електричного опору $\rho(h)$ – крива з прозорими кружечками

Отож, інтерпретація графіків на рис.3.18 полягає у наступному:

- 1) пояснення до графіку поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ (рис.3.18, крива з чорними точками):
 - а) відрізки, де крива зростає, вказують на провідний шар;
 - б) відрізки, де крива майже незмінна – діелектрик;
 - в) точки перегину кривої – приблизні межі шарів;
- 2) пояснення до графіку питомого електричного опору $\rho(h)$ (рис.3.18, крива з прозорими кружечками):
 - а) максимальні ρ – орієнтовні значення опорів непровідних шарів.
 - б) мінімальні ρ – орієнтовні значення опорів провідних шарів.

Таким чином, з графіків поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та питомого електричного опору $\rho(h)$ можна вже не лише якісно, але й кількісно оцінити геологічний розріз, а саме: визначити приблизну кількість шарів, вказати яким є кожен із шарів: провідний чи не провідний (діелектрик),

порівняти товщини шарів, приблизно оцінити глибини залягання, назвати орієнтовні значення питомого опору для кожного шару.

3.5. Метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними польових вимірювань методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

Точніші параметри геологічного середовища: опір, глибина, товщина, кількість шарів, – можна отримати з моделі геоелектричного розрізу. Для побудови такої моделі беруться до уваги результати формальної інтерпретації, а саме – крива опору і як допоміжна – крива провідності [105].

Традиційною моделлю для методів зондування є модель горизонтально-шаруватого середовища, оскільки суттєво властивості геологічного середовища змінюються по вертикалі як в планетарному масштабі, так і при детальних дослідженнях. З урахуванням цього факту і будуються моделі. Для цього пропонується два варіанти побудови: схематична і точна.

Схематична побудова моделі геоелектричного розрізу є доволі простою та інтуїтивно зрозумілою і проводиться на основі візуальної оцінки кривих поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та питомого електричного опору $R_o(h)$, значення котрих отримуємо на етапі формальної інтерпретації даних. Спрощене подання такої процедури представлено на рис.3.19 на основі розрахованих кривих $S(h)$ та $R_o(h)$ для пікету pk08 (точка спостережень 75) стебниківського профілю.

Схематичне зображення процесу побудови моделі геоелектричного розрізу за кривими поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та питомого електричного опору $R_o(h)$ зображені на рис.3.20.

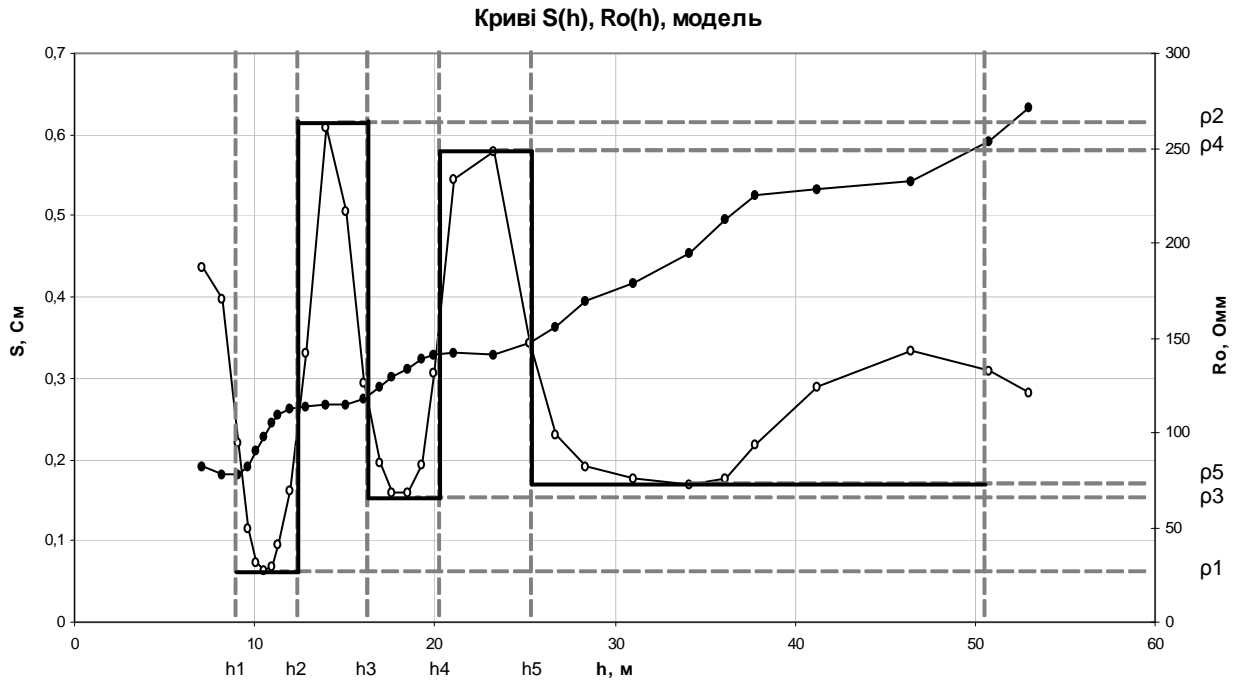


Рисунок 3.19 – Схематична побудова моделі геоелектричного розрізу

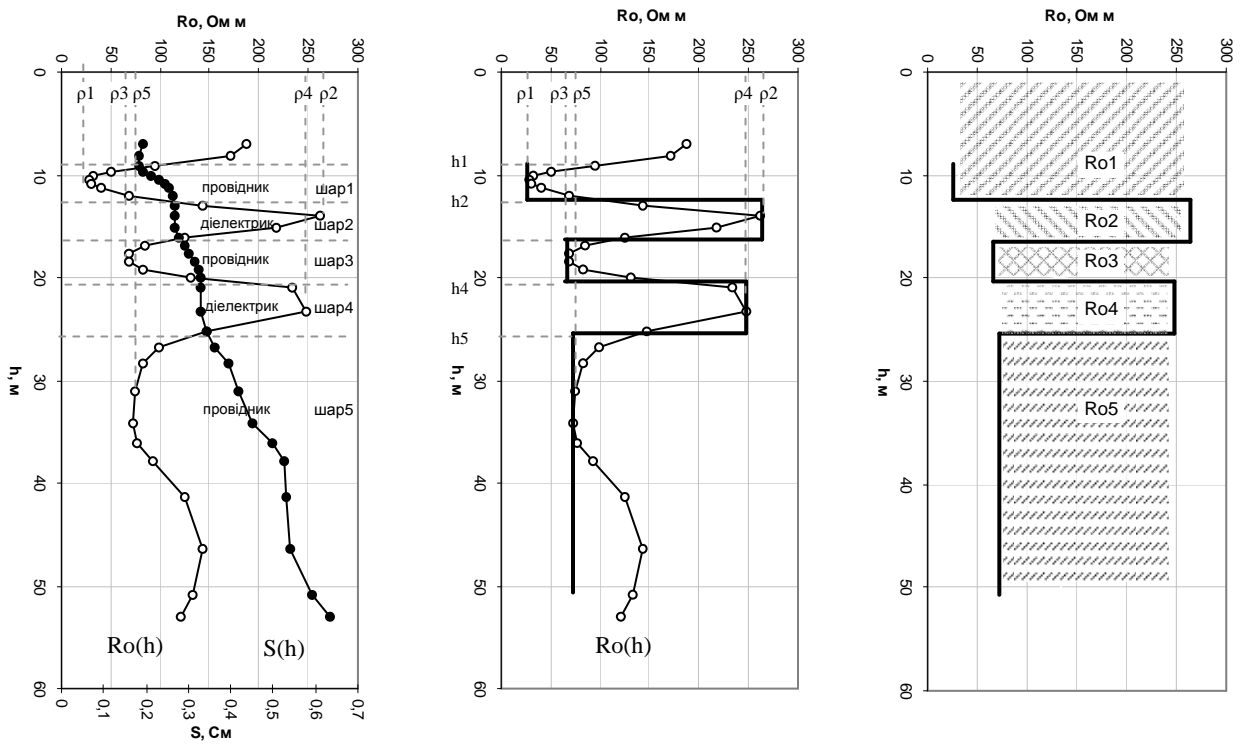


Рисунок 3.20 – Схематичне зображення процесу побудови моделі розрізу

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 $R_o(h)$: мінімальні та максимальні R_o – орієнтовні значення опорів шарів, точки перегину кривої – приблизні межі шарів.

Хоча описана процедура і є достатньо очевидною, проте скористатися нею для автоматизованого розрахунку та експрес-аналізу даних практично неможливо. Лише знаючи аналітичний вираз функції, можна знайти згадані величини. Однак, на практиці, зазвичай, залежність одного параметра від іншого часто представляється набором експериментальних даних, при цьому аналітичний вигляд цієї залежності, як і результатів формальної інтерпретації, невідомий. У таких випадках мають справу з інформацією, що подається у вигляді таблиці, тобто маємо табличне представлення даних. З огляду на це, пропонується метод побудови моделі геоелектричного розрізу за табличними даними формальної інтерпретації.

Суть методу полягає у тому, що характеристичні параметри геологічного середовища, тобто параметри моделі геоелектричного розрізу або іншими словами – модель геоелектричного розрізу будується за розрахованими (за відомими асимптотичними формулами) на етапі формальної інтерпретації значеннями питомого електричного опору із застосуванням для знаходження потрібних масивів питомих опорів і відповідних їм глибин першої та другої похідних кривої $R_o(h)$. Вихідні дані програми розрахунку (формальної інтерпретації) – це масиви значень, поданні у вигляді таблиці (табл.3.7). Знайти похідні за даними у табличному представленні можна двома шляхами: перший – через пошук деякої приблизної функції, яка б замінила табличні значення. І другий – пошук похідних за сусідніми точками, що базується на фізичному змісті самої похідної, тобто те, що перша похідна – це швидкість, котра розраховується як відношення різниць ординат сусідніх точок до різниці їх абсцис: $\approx \Delta y / \Delta x$.

Перший спосіб знаходження похідної, який зводиться до підбору чи

пошуку належної апроксимуючої функції, для швидкої обробки чи експрес-аналізу не є цілком прийнятний. У другому варіанті для приблизного обчислення похідних передбачається використання чисельного диференціювання з допомогою методу кінцевих різниць. У цьому випадку похідні виступають як швидкості зміни функції, тобто визначаються відношенням приросту функції до приросту її аргументу і розраховуються через елементарні операції віднімання та ділення. Якщо функція задана масивами значень, а результатом формальної інтерпретації є саме такі набори даних (табл.3.7), похідну у точці x_i можна знайти за формулою: $f'(x_i) = (y_{i+1} - y_i) / (x_{i+1} - x_i)$. Такий підхід для розрахунку похідних з використанням найпростіших математичних операцій для експрес-аналізу є повністю задовільний.

Алгоритм побудови моделі геоелектричного розрізу складається з кроків:

Крок 1. Розрахунок кривих поздовжньої сумарної провідності $S(h)$ та питомого електричного опору $R_o(h)$;

Крок 2. Пошук з кривої питомого електричного опору $R_o(h)$, що була розрахована на кроці 1, мінімальних та максимальних значень – це орієнтовні опори шарів;

Крок 3. Пошук з кривої питомого електричного опору $R_o(h)$, 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.

Ідея розробленого методу наступна:

1) розраховується крива питомого електричного опору $R_o(h)$. На даному етапі для кожного значення часу затримок перехідного процесу t_i шукаються значення S_i , h_i , R_{oi} 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 вимірювальній петлі нормована на струм у генераторній $\Delta V/I$ над непровідним півпростором, в котрому міститься тонкий провідний шар:

$$E_i = \Delta V/I = \frac{3Qq}{16\pi S_\tau} \cdot \frac{1}{(h_\tau + t/\mu_0 S_\tau)^4} \text{ та скінченна сумарна провідність } h_\tau \sigma = S_\tau,$$

де: h_τ – глибина проникнення нестационарного електромагнітного поля, σ – питома провідність шару, S_τ – сумарна еквівалентна провідність шарів, охоплених нестационарним електромагнітним полем, Q – площа генераторної петлі, q – площа приймальної петлі, μ_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 $m_i = m$, 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): $Ro(i) = \frac{\partial h}{\partial S}(i) = \frac{h_i - h_{i-1}}{S_i - S_{i-1}}$.

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

– значення Y – значення питомих опорів шарів ρ_i – береться з кривої $Ro(h)$ в точках її екстремумів (значення y), тобто в точках, де 1 похідна кривої Ro по

глибині дорівнює 0: $\frac{\partial \rho_i}{\partial h_i} = 0$;

– значення X – значення границь шарів h_i – береться з кривої $Ro(h)$ в точках її

перегину (значення x), тобто в точках, де 2 похідна кривої R_0 по глибині

$$\text{дорівнює } 0: \frac{\partial^2 \rho_i}{\partial h_i^2} = 0 .$$

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.

Для прикладу побудови моделі геоелектричного розрізу скористаємось уже розрахованими значеннями питомого електричного опору $R_0(h)$ для пікету рк08 (точка спостережень 75) стебниківського профілю. Першу похідну $\frac{\partial \rho_i}{\partial h_i}$ знайдемо за формулою: $\frac{\rho_{i+1} - \rho_i}{h_{i+1} - h_i}$, а другу – отримаємо аналогічним чином з першої. Результати розрахунків представлені у табл.3.8.

Таблиця 3.8

Результати розрахунків для точної побудови моделі
(пікет рк08)

№ з/п	t, мкс	h, м	R ₀ , 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
6	7	10,54	27,22	-10,12	67,07
7	8	10,94	29,47	5,65	39,61
8	9	11,34	40,62	27,51	53,94
9	10	11,97	69,12	45,66	29,07
10	12	12,92	142,53	77,48	33,60
11	14	14,02	261,19	107,62	27,33
12	16	15,13	217,14	-39,53	-132,03
13	18	16,13	125,79	-91,29	-51,74
14	20	16,92	84,36	-52,38	49,20
15	22	17,65	68,63	-21,72	42,34
16	24	18,54	68,46	-0,20	24,26
17	26	19,25	83,43	20,85	29,31
18	28	19,91	131,83	73,83	80,80
19	30	21,05	233,56	89,21	13,49
20	35	23,25	248,21	6,67	-37,57
21	40	25,26	147,46	-49,95	-28,07

22	45	26,74	99,18	-32,66	11,70
23	50	28,35	82,31	-10,52	13,81
24	60	31,11	75,42	-2,50	2,90
25	70	34,12	72,11	-1,10	0,46
26	80	36,19	75,54	1,65	1,33
27	90	37,80	93,32	11,03	5,81
28	100	41,28	124,16	8,86	-0,62
29	120	46,50	142,72	3,56	-1,02
30	140	50,82	132,19	-2,44	-1,39
31	160	53,01	120,70	-5,26	-1,29
32	180	58,08	112,30	-1,65	0,71
33	200	67,78	100,94	-1,17	0,05
34	220	78,43	87,73	-1,24	-0,01

Пошук значень Y – значень питомих опорів шарів ρ_i з використанням першої похідної (табл.3.8) для знаходження екстремумів кривої $R_0(h)$ схематично представлений на рис.3.21.

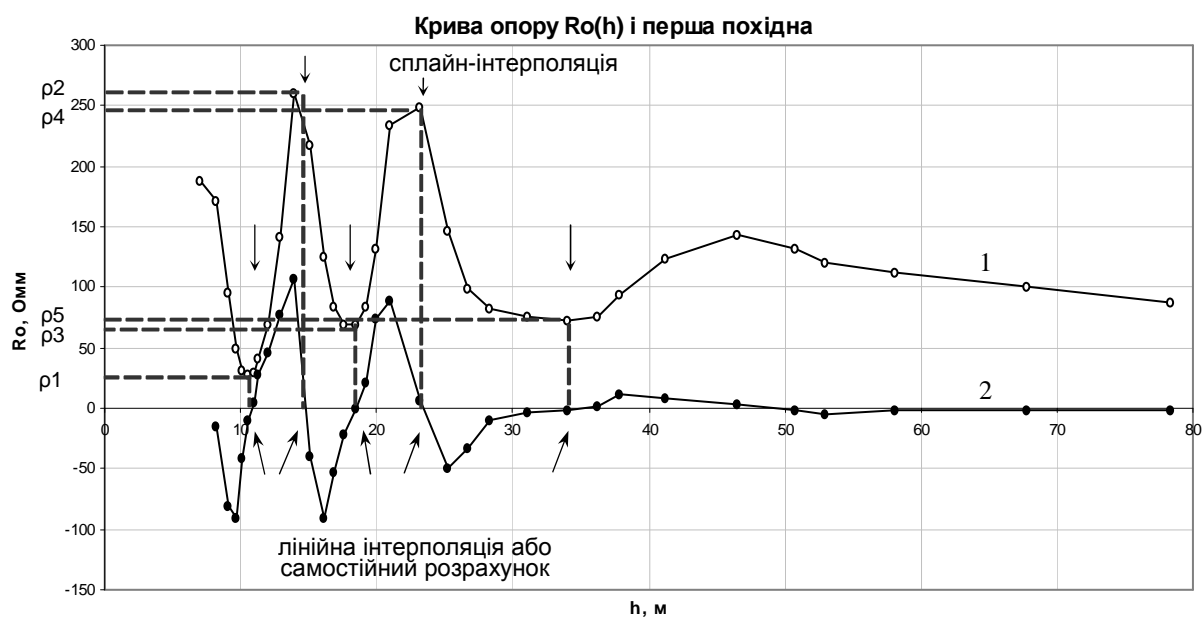


Рисунок 3.21 – Пошук значень питомих опорів шарів ρ_i (значень Y)
(1 – крива питомого електричного опору $R_0(h)$, 2 – перша похідна)

Пошук значень X – значень границь шарів h_i з використанням другої похідної (табл.3.8) для знаходження точок перегину кривої $R_o(h)$ схематично представлений на рис.3.22.

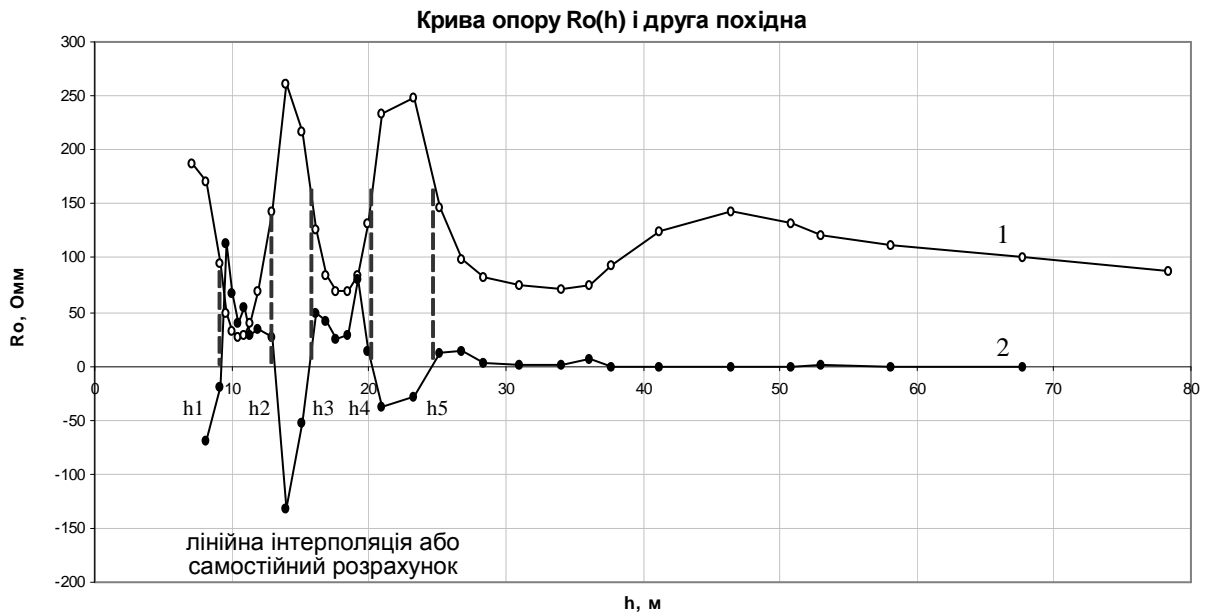


Рисунок 3.22 – Пошук значень границь шарів h_i (значень X) для моделі (1 – крива питомого електричного опору $R_o(h)$, 2 – друга похідна)

В результаті, побудувавши за знайденими значеннями X та Y графік, отримаємо модель геоелектричного розрізу як на рис.3.19.

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.

Запропонований алгоритм цілком придатний для швидкої обробки чи експрес-аналізу експериментальних даних і складений таким чином, щоб його легко можна було запрограмувати, використавши нескладні математичні операції та функції. До прикладу, у пакеті Octave, що є вільним програмним забезпеченням і поширюється під ліцензією GNU GPL, серед вбудованих функцій є чимало для одномірної інтерполяції з можливістю вибору потрібного методу [105]. Так, для лінійної інтерполяції можна

скористатися функцією `interp1()` або розрахувати потрібне значення з рівняння прямої за двома точками самостійно, для сплайн-інтерполяції з урахуванням неперервності першої та другої похідної для найкращого результату варто обрати функцію `spline()`.

На основі викладеного методу у середовищі GNU Octave розроблена програма розрахунку параметрів геологічного середовища для побудови моделі геоелектричного розрізу (рис.3.23, рис.3.24).

```

#!/usr/bin/octave
#
#####
fName = argv(){1};
A = load (fName);
N = size(A,1);

# dRho/dh
for i = 2:N
    p1(i)=(A(i,5)-A(i-1,5))/(A(i,3)-A(i-1,3));
endfor #
N = size(p1,2);
j=0;
for i = 2:N-1
    if (sign(p1(i)) != sign(p1(i+1)))
        j=j+1;
        x(j)=(A(i+1,3)-A(i,3))*(-p1(i))/(p1(i+1)-p1(i))+A(i,3);
    endif
endfor
ro=spline(A(:,3),A(:,5),x);
# d2Rho/dh2
for i = 3:N
    p2(i)=(p1(i)-p1(i-1))/(A(i,3)-A(i-1,3));
endfor
...

```

Рисунок 3.23 – Уривок програми розрахунку параметрів моделі

Вхідними даними цієї програми є вихідні дані програми формальної інтерпретації (табл.3.7): масив глибин (h) та відповідний масив питомого електричного опору (R_0), що представляють собою на зазначеному етапі лише криву залежності $\rho(h)$ (рис.3.16). Саме ці величини використовуються для подальших розрахунків, знаходження першої і другої похідних, пошуку опорів шарів та глибин залягання.

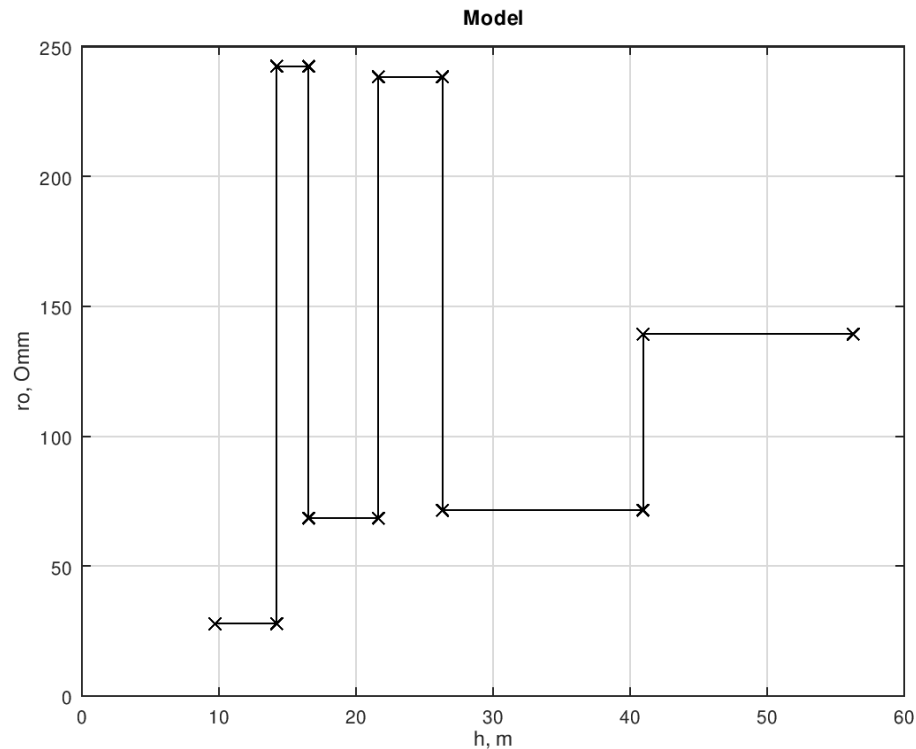


Рисунок 3.24 – Модель геоелектричного розрізу за даними методу ЗСБ

Вихідними даними розробленої програми є знайдені масиви електричного опору, приблизних меж шарів, а також – сформовані остаточні масиви значень для побудови приблизної моделі геосередовища. Результат роботи програми представлений на рис.3.24 – це графік-модель геоелектричного розрізу, збережений у форматі png. Засоби пакету GNU Octave підтримують роботу з багатьма іншими форматами зображень.

Запропонований в роботі метод побудови моделі георозрізу призначений для роботи з геофізичними даними методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні з вимірювальною установкою ”петля в петлі”. Розрахунок параметрів моделі геоелектричного розрізу ведеться на основі кривої питомого електричного опору. Характерними особливостями методу є:

- можливість знаходження параметрів моделі за даними, представленими таблично;
- для забезпечення найкращого результату розрахунку пропонується використання відповідних методів інтерполяції в залежності від ситуації;

– застосування в ході обчислень простих формул, нескладних розрахунків та елементарних математичних операцій.

Висновки до розділу 3: розроблено модель тренду часового ряду моніторингових даних, метод їх експрес-аналізу, алгоритми візуалізації та метод побудови моделі геоелектричного розрізу за даними польових спостережень. Розроблений метод експрес-аналізу моніторингових даних з використанням апарату описової статистики та моделювання трендів часових рядів дозволив виявити часові діапазони, де з великою імовірністю електричні сигнали можуть бути пов'язані зі сейсмічними подіями; метод побудови моделі геоелектричного розрізу забезпечує розрахунок характеристичних параметрів середовища за даними експериментальних спостережень методом ЗСБ та побудову на основі отриманих значень моделі геоелектричного розрізу в польових умовах.

РОЗДІЛ 4.

ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕКСПРЕС-АНАЛІЗУ ДАНИХ ГЕОЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

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

4.1. Структурно-функціональна модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень

Розроблена структурно-функціональна модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень представлена на рис.4.1.

Структура інформаційної технології складається з елементів: вхідні дані від давачів геофізичних полів: природного електричного поля і штучного електромагнітного поля, методи, моделі та засоби експрес-аналізу первинних геофізичних даних методу природного електричного поля та методу зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні, що були розроблені у другому і третьому розділах роботи, та вихідні дані, збереження і виведення результатів.



Рисунок 4.1 – Структурно-функціональна модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень

4.2. Вимоги до автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень

Практика проведення геоелектромагнітних спостережень методами електророзвідки показує, що первинні геофізичні дані можуть надходити з найрізноманітніших точок спостережень, які географічно можуть бути рознесені практично по всій території нашої країни. Усі ці дані – це результат спостережень постійних вимірювань з режимних геофізичних станцій або стаціонарних пунктів, а також – польових вимірювань з тих чи інших об'єктів.

Загалом основним функціональним призначенням автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень є забезпечення швидкого аналізу та оперативного опрацювання вхідних даних електромагнітних спостережень з наочним представленням їх результатів. Оскільки такі спостереження організуються в пунктах з різною географією розташування, а при польових локальних дослідженнях окремих регіонів, коли робота проводиться у режимі строгої економії наявних ресурсів і будь-яка комп'ютерна обробка даних неможлива, то в подібних ситуаціях доречно забезпечити збір і передачу даних для подальшої обробки на окремий сервер, а маніпуляції з даними проводити в режимі on-line.

З огляду на це, складовими елементами розроблюваної АС, що в сукупності реалізують згадану інформаційну технологію, будуть такі окремі компоненти, які гарантуватимуть забезпечення функцій реєстрації, збору, передачі, прийому та зберігання, а також – доступу, експрес-аналізу, представлення та візуалізації як первинної інформації, так і результатів опрацювання [106-108].

Прийнявши до уваги характерні особливості електромагнітних досліджень, специфіку проведення постійних та польових спостережень, які детально були описані та розглянуті у попередніх розділах, можна сформулювати основні вимоги до автоматизованої системи:

- 1) реєстрація, збір та передача первинної інформації в автоматичному чи напівавтоматичному режимі;
- 2) забезпечення безперервного прийому геофізичних даних на приймальній стороні з будь-якої точки спостережень, у будь-якій кількості та у будь-який момент часу;
- 3) правильне розпаралелення інформаційних потоків та чітке їх розмежування;
- 4) оптимальне налаштування робочого середовища з організацією відповідної інфраструктури через гнучку систему користувачів;
- 5) надання відповідним користувачам системи необхідних прав доступу

до файлів;

б) авторизований вхід і доступ до інформаційних ресурсів;

7) зручний інтерфейс користувача для роботи з даними в режимі on-line;

8) оперативна обробка запитів користувачів, візуалізація даних спостережень, графічне представлення результатів експрес-аналізу.

4.3. Складові структури автоматизованої системи

Структура автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, що реалізує інформаційну технологію, складається з чотирьох підсистем (рис.4.2), а саме:

- передавальна (вимірювальна, польова) підсистема
- приймальна підсистема
- підсистема опрацювання та аналізу
- підсистема доступу, представлення та візуалізації.

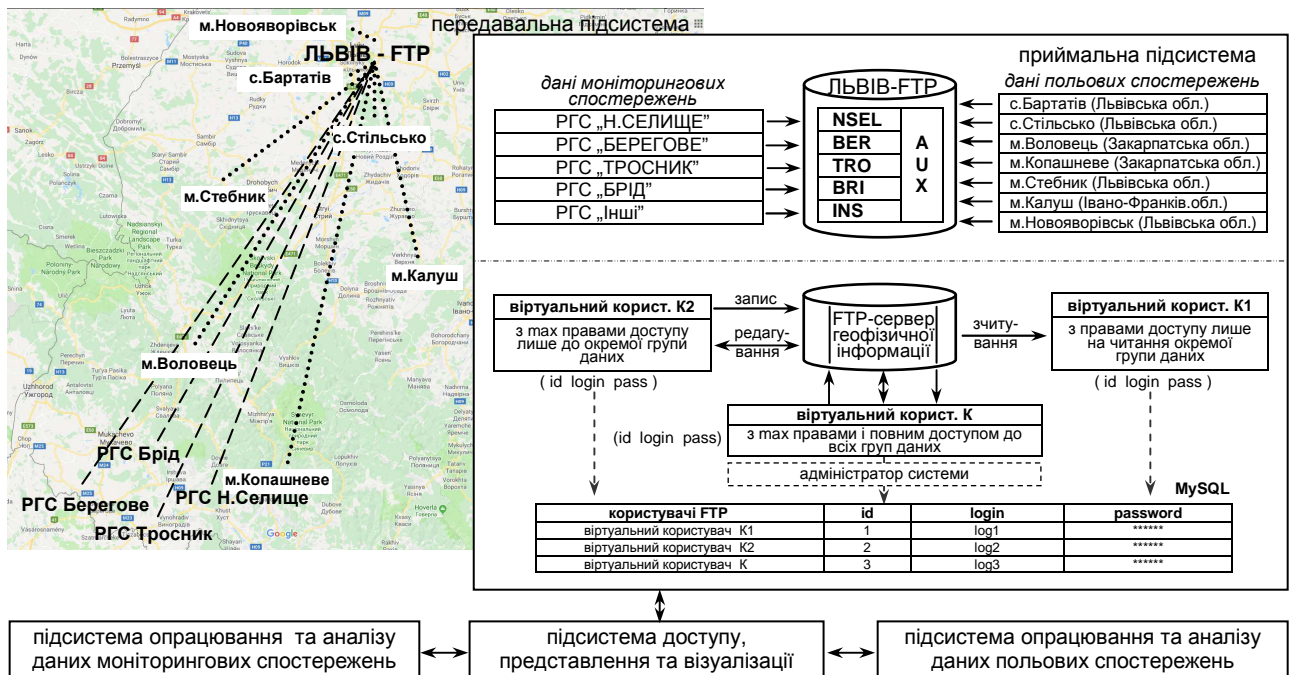


Рисунок 4.2 – Структура автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень

4.3.1. Передавальна (вимірювальна, польова) підсистема

Основним призначенням даної частини є забезпечення в залежності від характеру, особливостей та специфіки електромагнітних спостережень відповідного режиму реєстрації, збору та передачі первинної інформації.

Як зазначалося вище, електромагнітні спостереження можуть вестися автоматично у випадку з постійними спостереженнями та напівавтоматично при локальних польових дослідженнях. Цілком очевидним є і те, що за таких умов процедура реєстрації, збору та передачі первинних геофізичних даних, відповідно, також буде автоматичною чи напівавтоматичною.

Важливим на даному етапі є вибір геофізичного обладнання. Сьогодні вимірювальні прилади, що призначені для реєстрації геофізичних полів геофізичними методами, розробляються на базі сучасної схемотехніки та електроніки, із максимальним залученням елементів зв'язку та модулів доступу до мережі Інтернет [103].

Як правило, відомі фірми-виробники устаткування для геофізичних досліджень постачають разом зі своєю апаратурою також і відповідне ПЗ для опрацювання отриманих експериментальних даних.

З-поміж провідних виробників згаданого обладнання можна виділити американську компанію Geometrics, входить до складу Міжнародної корпорації OYO і є експертом в галузі розробки та виготовлення систем для збору геофізичних даних.

Геофізичні прилади компанії Geometrics здатні працювати у різних кліматичних умовах у будь-якій точці на суші, на морі чи у повітрі. Це прилади: цезієві магнітометри G-858, G-859, Geometrics G823 AWL, протонний G-857; сейсмографи: Geode DZ, 3-D, ES-3000, StrataVisor NZ, SmartSeis ST; геоелектричні інструменти з усякими модифікаціями і призначенням (Geode EM3D) [31].

Інша відома фірма, основним напрямком роботи котрої є розробка і виготовлення високотехнологічного електромагнітного обладнання, зокрема,

геофізичних приладів та вимірювальних систем, – це німецька виробнича компанія Metronix [28].

Виключно і лише суто сейсмічними приладами та системами займається компанія Guralp Systems Ltd (Великобританія), що є популярною та визнаною усією світовою сейсмічною громадськістю [29].

Доречним буде згадати і такого провідного виробника приладів для магнітотелуричного та деяких інших електромагнітних методів геофізики як канадську фірму Phoenix Geophysics Limited [32].

Чи не найвідомішим у світі розробником та виробником досконалих приладів, що використовуються і для космічних, і для наземних геофізичних досліджень, є ЛЦ ІКД – Львівський центр Інституту космічних досліджень Національної академії наук та Державного космічного агентства України [30]. Їх розробками є: давачі, прилади, вимірювально-інформаційні системи, зорієнтовані на геофізичні дослідження: магнітометри аналогові, цифрові (ферозондові трикомпонентні lemi-011, lemi-024, lemi-120 індукційний), станції магнітотелуричні польові (LEMI-417M, LEMI-419, LEMI-420) і т.д..

Для усіх зазначених фірм характерним є практично стандартна комплектація апаратури, куди входить: прилад, додаткове устаткування, ПЗ. Приміром, достатньо детально описується у розширених тезах міжнародної конференції [33] сучасна і зручна у користуванні для студентів та досвідчених фахівців програма, призначена і розроблена для візуалізації та обробки експериментальних даних, отриманих з польових магнітотелуричних станцій LEMI-420, LEMI-419, LEMI-417M. Разом з тим, таке програмне забезпечення не є універсальне, а, радше, вузькоспеціалізоване і зорієнтоване на обробку лише тих даних, що отримані виключно з апаратури власного виробництва [103].

Вся вимірювальна апаратура на сьогодні побудована на високотехнологічній електронній базі, є цифрова. Як правило, такі прилади забезпечують автоматичну реєстрацію сигналів, мають можливість зберігати файли з даними у внутрішній пам'яті, обладнані USB/COM(інтерфейс обміну

RS-232)-портами для подальших маніпуляцій з даними. Тому, використовуючи такі прилади, завжди матимемо і автоматичну реєстрацію сигналів, і автоматичний збір первинної інформації. Що стосується передачі даних, то тут ситуація складніша.

Як зазначалося вище, в польових умовах з міркувань економії ресурсів для попереднього аналізу чи обробки пакети даних пропонувалося передавати на окремий сервер. Така передача можлива лише за наявності доступу до Інтернет [73].

Якщо геофізичні дослідження проводяться в районах населених пунктів чи територій, де доступними є Wi-Fi-мережі, з портативного ПК, що має активну функцію Wi-Fi, передати пакети даних можливість буде. Проте, точки доступу Wi-Fi є не завжди, оскільки доволі часто геофізичні спостереження ведуться в глухих, важкодоступних і віддалених районах. Найоптимальнішим за таких умов для передачі даних використовувати мобільний Інтернет, який на сьогодні є досяжний практично у будь-якій точці нашої країни. Тому в польових умовах для геофізичних досліджень дедалі частіше задіюється така вимірювальна апаратура, котра має вбудовані функції передачі даних через GSM-мережі операторів мобільного зв'язку або обладнана USB/COM-портами для зовнішнього під'єднання незалежних модулів передачі [37, 65, 93, 30].

Отож, передавальна (вимірювальна, польова) частина автоматизованої системи може бути організована кількома шляхами:

- 1) з використанням геофізичних приладів, де передбачена реєстрація, збір та передача даних;
- 2) з використанням для збору даних одноплатного мікрокомп'ютера Raspberry Pi з вбудованим Wi-Fi або у поєднанні з додатковим GSM-модулем для передачі даних чи плати розширення (модуля) для роботи в мережах стільникового зв'язку за технологіями GSM/GPRS (шилд);
- 3) з використанням для передачі даних незалежного універсального приладу "Вістун" [37]. Особливістю приладу є те, що для передачі

геофізичної інформації використовуються мережі стільникового зв'язку стандарту GSM. Усі системні налаштування, задання необхідних параметрів роботи та інших характеристик відбувається через розроблену сервісну програму. Прилад мобільний, енергонезалежний, в залежності від конструктивного рішення може працювати як передавач інформації, або – реєстратор з подальшою передачею даних.

4.3.2. Приймальна підсистема

Основне призначення цієї частини – забезпечення в режимі реального масштабу часу безперервного прийому, зберігання та доступу до первинної геофізичної інформації.

Як було описано раніше, для роботи з даними використовується FTP-сервер, котрий гарантує виконання наступних завдань стосовно маніпуляцій з даними, а саме [108]:

- 1) запис даних на FTP;
- 2) зчитування даних з FTP;
- 3) адміністрування даних FTP;
- 4) організація доступу до даних FTP для визначених користувачів.

Слід також зазначити, що:

- запис даних на FTP може вестися лише в автоматичному режимі з відповідного пристрою;
- зчитування даних з FTP можливе автоматично чи за запитами авторизованих користувачів мережі Інтернет, сервісних чи прикладних програм, Web-серверів, HTML-сторінок, користувачів локальних обчислювальних мереж (ЛОМ);
- адміністрування даних – повний контроль над усіма геофізичними даними.

Ще один важливий аспект роботи FTP – розпаралелення геофізичної інформації та її систематизація. Первинні дані можуть надходити з різних точок спостережень з багатьох передавальних приладів, це можуть бути

результати і постійних моніторингових досліджень, і періодичних польових. За таких умов рух інформаційних потоків на FTP-сервері організовано наступним чином (рис.4.2): щоб розпаралелити різнотипні інформаційні потоки, в середовищі FTP створено відповідні директорії, куди скеровуються файли з даними; прийом даних організовано таким чином, щоб кожен прилад передачі мав доступ до відведеної лише для нього директорії; для маніпуляцій з окремими групами даних виділено окремі групи користувачів.

Специфіка проведення постійних та польових досліджень суттєво впливає на організацію системи прийому, зберігання та доступу до зібраних геофізичних результатів. З огляду на це, приймальна частина даних постійних та польових вимірювань має певні відмінності.

У запропонованій системі передача даних відбувається за FTP-протоколом, геофізична інформація, що надходить, зберігається на FTP-сервері. Для організації безпечного прийому-передачі даних, належної захищеності інформації та забезпечення максимальної економії ресурсів системи обрано таку конфігурацію FTP, при якій в роботі використовуються лише віртуальні користувачі, їхні облікові записи зберігаються в СУБД MySQL, а для кожного користувача можна задати свою конфігурацію, необхідні налаштування та права доступу, роботу з FTP гарантувати через авторизований вхід.

Схематичне зображення роботи FTP-сервера через окремих користувачів представлено на рис.4.2.

Оскільки постійні моніторингові спостереження передбачають безперервну реєстрацію і збір геофізичних даних з цілої низки і режимних геофізичних станцій, і стаціонарних пунктів, на стороні сервера в середовищі FTP для прийому таких даних, а також їх зберігання і доступу в режимі on-line, сформована відповідна інфраструктура та розроблена певна система користувачів (рис.4.2). Тут для кожної РГС, котра буде надсилати свої дані, виділені необхідні окремі інформаційні ресурси і сформовані окремі групи користувачів цих даних. В якості таких ресурсів виступає одна чи декілька

директорій (їх кількість залежить від вирішуваних завдань), що прописуються у відповідних конфігураційних файлах і стають домашніми для конкретної групи користувачів. Так, для даних з РГС "Нижнє Селище" виділена директорія [NSEL], РГС "Берегове" – [BER], РГС "Тросник" – [TRO], РГС "Брід" – [BRI], РГС "Мукачеве" – [MUK] (рис.4.2). Сама група користувачів – це, як правило, по два:

- один користувач: має обмежені права, від його імені дані з FTP можна лише зчитати. Це користувачі для зчитування даних (таким користувачам надані права лише на читання своїх директорій);

- другий користувач: має максимальні права на доступ, від його імені можна записувати дані на FTP, редагувати, знищувати. Це користувачі, від імені котрих інформація записується на сервер та цілком ними контролюється (таким користувачам надано необхідний набір прав для управління та адміністрування своїх директорій).

У розробленій системі передбачений ще один користувач – це адміністратор системи. Він має повний доступ до всіх інформаційних ресурсів і володіє максимальним набором прав.

З міркувань безпеки на FTP всі користувачі системи є віртуальні, доступ до ресурсів FTP авторизований (кожен користувач має свій login і пароль), вся службова інформація про користувачів зберігається в окремій базі даних СУБД MySQL.

При польових спостереженнях, що дозволяють вивчати локальні регіони чи області, реєстрація та збір геофізичних даних відбувається ситуативно, а самі спостереження, зазвичай, кожен раз проводяться на нових теренах. З огляду на це, передбачити наперед які директорії на FTP необхідно виділити під такі польові дані ми не можемо. Тому найоптимальнішим за таких умов є створити одну спільну директорію для цієї групи даних і всі інформаційні потоки з поля скеровувати саме туди (рис.4.2). Подальші переміщення та маніпуляції з польовими даними покласти на користувача з відповідними правами.

Для належного функціонування та коректної роботи даного напрямку проведено таке:

- 1) створена одна спільна директорія для інформаційних потоків з поля.
- 2) для зчитування даних цієї категорії задіяний користувач з правом лише на читання.
- 3) для запису і повного контролю за даними створений користувач з максимальними правами.
- 4) для доступу до даних цієї групи передбачений авторизований вхід.

У розробленій АС для збору первинної геофізичної інформації в режимі реального масштабу часу задіяний FTP-сервер vsftpd (розшифровується як дуже захищений демон FTP) – це один з найбезпечніших, ефективних і стабільних серверів для ОС Linux. Має доволі багато потрібних функцій і можливостей, є гнучкий у налаштуваннях і здатний максимально забезпечити усі вимоги.

Сервер налаштований на прийом даних з конкретної станції, пункту спостережень і будь-якої точки з поля, їх зберігання у чітко визначеному місці, строгу систематизацію, повний/частковий доступ.

Для реалізації описаної схеми роботи FTP було проведено наступне [109-115]:

- 1) в ОС Linux для коректної роботи FTP створено "службового" користувача зі своєю домашньою директорією (користувач vsftpd);
- 2) заборонено роботу анонімних користувачів;
- 3) для зберігання службової інформації про користувачів FTP створено окрему базу даних в СУБД MySQL;
- 4) налаштовано PAM-авторизацію так, щоб для аутентифікації користувачів використовувалася БД MySQL;
- 5) в БД MySQL додані всі користувачі (тобто записи) зі службовою інформацією про кожного: id, login, password;
- 6) створені домашні директорії для запису і зберігання різних груп даних всіх користувачів;

7) для кожного користувача FTP сформовано свій файл конфігурації, де вказаний шлях до домашньої директорії, і задані права доступу.

Структура бази даних користувачів: поле `id` – `int(11)` : ім'я – `id`, ціле, довжина – 11 символів; поле `login` – `varchar(30)`: ім'я – `username`, стрічка змінної довжини, довжина 30 символів; поле `password` – `varchar(50)`: ім'я – `pass`, стрічка змінної довжини, довжина 50 символів.

Налаштований таким чином FTP-сервер гарантує безпечний прийом-передачу даних, робота через незалежних віртуальних користувачів забезпечить належну захищеність даних та максимальну економію ресурсів, служба FTP на приймальній стороні працює безперервно, сервер перебуває у стані очікування, знаходиться в режимі постійної готовності, здатний приймати пакети даних у будь-якій кількості, в будь-який час, з будь-якого пункту спостережень, а також в будь-який момент часу обробляти запити користувачів чи виконувати команди віддалених клієнтів [108].

4.3.3. Підсистема опрацювання та аналізу

Основне призначення даної частини – забезпечення в залежності від методів геоелектромагнітних досліджень та характеру спостережень відповідних алгоритмів опрацювання та процедур аналізу первинних геофізичних даних.

На основі запропонованих у попередніх розділах методик, моделей та засобів аналізу геофізичної інформації були розроблені та сформовані відповідні програмно-алгоритмічне забезпечення АС.

4.3.4. Підсистема доступу, представлення та візуалізації

Основне призначення даної частини – гарантування максимального та безпечного доступу, компактного представлення та наочної графічної візуалізації результатів геоелектромагнітних спостережень, що надійшли та зберігаються на FTP-сервері з можливістю роботи з такою первинною геофізичною інформацією в режимі реального масштабу часу.

З огляду на те, що первинна інформація, зазвичай, є або цілком закрита, або з обмеженим доступом, для коректної, повноцінної і безпечної роботи з такими даними важливим є гарантувати різні шляхи доступу. Тому основними вимогами щодо організації доступу є таке:

- забезпечити представлення первинних даних у вигляді графіків різноманітних залежностей на окремих HTML-сторінках або спеціалізованих Web-сайтах;
- гарантувати доступ до оригінальних файлів з первинною геофізичною інформацією на FTP-сервері через обмежену і контрольовану роботу користувачів.

На виконання вимог щодо організації доступу до первинної геофізичної інформації, її представлення та візуалізації у даній частині розробленої автоматизованої системи експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень використані та задіяні такі інструментальні засоби, пакети та сервери [73, 109, 116-121]:

1. FTP-сервер, налаштований і сконфігурований на безперервний прийом пакетів геофізичної інформації як постійних, так і польових даних з будь-яких точок спостережень.

2. Комплекс серверного програмного забезпечення LAMP:

- операційна система (ОС) Linux
- Web-сервер Apache
- СУБД MySQL
- скриптові мови та інтерпретатори: PHP, Python.

3. Технології: HTML, CGI, SSI, JavaScript, DHTML, CSS.

4. Спеціалізований математичний пакет з ліцензією GNU GPL Octave.

У роботі АС передбачено 2 варіанти доступу до ресурсів FTP, котрі реалізовані наступним чином:

- 1) через HTML-сторінки з можливістю аналізу первинних даних, представлених різними графіками залежностей;
- 2) через авторизований вхід користувачів системи до окремих груп

геофізичних даних з можливістю зчитування первинної інформації, представленої оригінальними файлами з результатами спостережень.

Доступитися до даних FTP пересічний користувач, знаючи необхідні login та пароль, може кількома шляхами:

- 1) засобами файлового менеджера (наприклад, для Microsoft Windows: FAR Manager, Total Commander та інші; для ОС Linux – Midnight Commander);
- 2) при допомозі будь-якого браузера (наприклад, Windows Internet Explorer, Opera, Fire Fox та інші);
- 3) через провідник Windows чи системну папку на робочому столі "Мій комп'ютер";
- 4) з використанням незалежних програм FTP-клієнт, або ж вбудованих (наприклад, в ОС Windows ftp-клієнт працює у консольному режимі через інтерфейс командної стрічки).

Окрім того, без визначеного login та паролю користувач в режимі on-line може працювати з даними FTP-сервера через HTML-сторінки окремих спеціалізованих Web-сайтів.

4.4. Технічне та програмне забезпечення автоматизованої системи

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, що працює під управлінням операційної 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.

Структура програмного забезпечення представлена на рис.4.3.

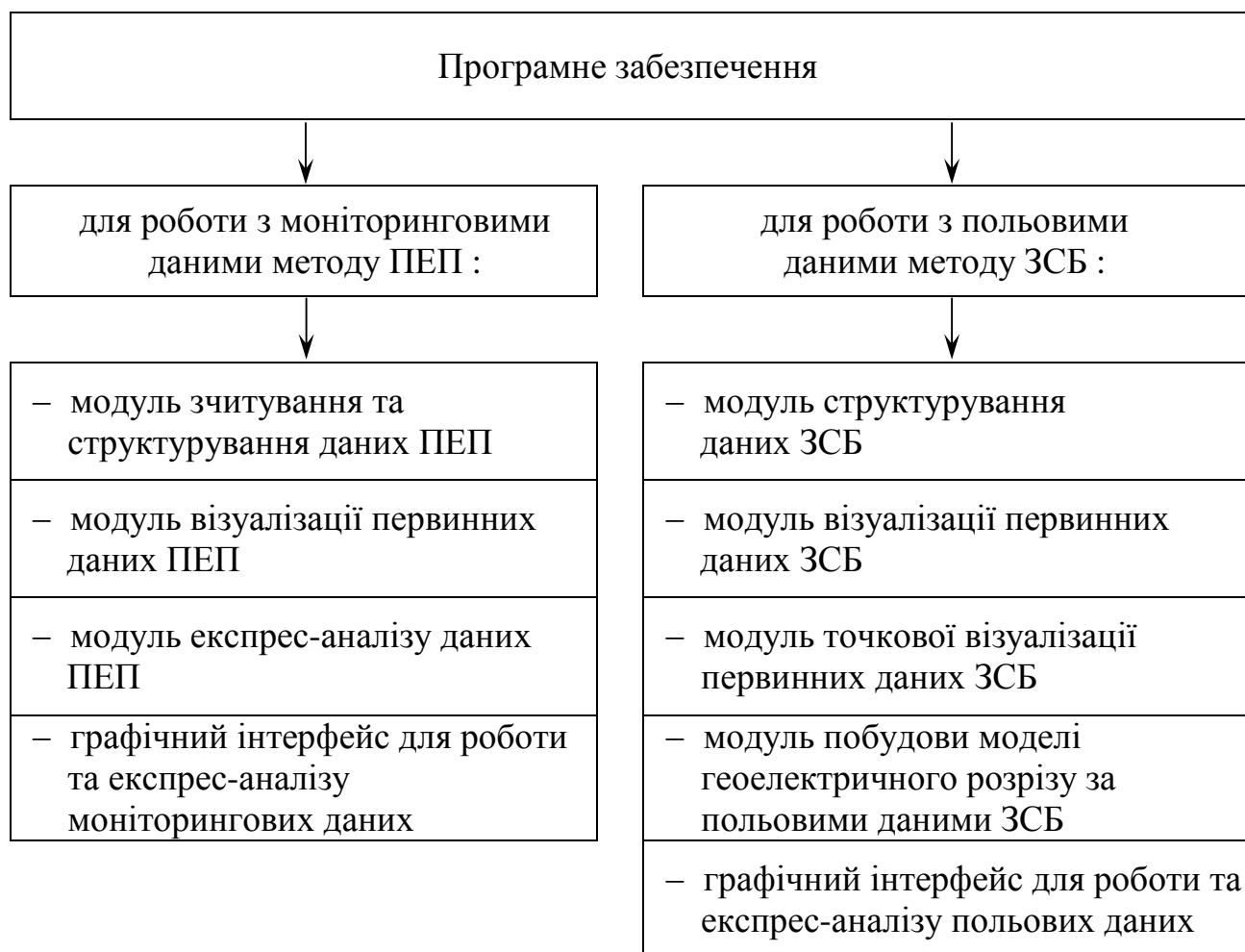


Рисунок 4.3 – Структура програмного забезпечення АС експрес-аналізу даних

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.

4.5. Алгоритм функціонування автоматизованої системи

Розроблена автоматизована система, що реалізує інформаційну технологію експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень,

орієнтована одночасно на роботу з даними постійних та польових вимірювань. Загалом структура такої системи представлена на рис.4.2.

Коротко принцип роботи автоматизованої системи можна описати так: на передавальній (вимірювальній, польовій) стороні на тому чи іншому пункті спостережень (РГС та/або точка в полі) працює цифрова геофізична апаратура, котра може передавати зафіксовані дані самостійно або з допомогою додаткового пристрою передачі даних, що під'єднується через будь-який з комунікаційних портів до вимірювального приладу і формує для подальшої автоматичної передачі файл із зареєстрованими сигналами.

На приймальній стороні для автоматичного прийому і зберігання цієї інформації задіюються відповідні служби та сервери: сервер доступу та обміну файлами, сервер баз даних, Web-сервер. Всі вони працюють під управлінням Unix-подібної операційної системи Linux і в сукупності забезпечують роботу з геофізичними даними в режимі реального масштабу часу. Робота кожного з них організована і налаштована згідно виконуваних ними функцій.

Доступ, представлення та візуалізація геофізичної інформації, що зберігається на FTP, можливі з використанням спеціалізованих Web-сайтів, а також – шляхом звертання до FTP через login і пароль виділених користувачів, тобто із залученням процедури авторизованого входу (рис.4.2).

На практиці в реальних умовах втілено, запроваджено і випробувано два варіанти роботи АС з даними:

- 1) робота з постійними (моніторинговими) спостереженнями;
- 2) робота з польовими спостереженнями.

4.5.1. Організація процедур збору, прийому-передачі та зберігання даних постійних геофізичних спостережень

Розроблена модель системи збору, прийому-передачі, доступу, обробки та візуалізації для постійних геофізичних спостережень випробовувалася і тестувалася на РГС "Нижнє Селище" (Закарпатська обл., Хустський район),

де ведеться безперервний моніторинг природного електричного поля методом ПЕП. Постійні спостереження організовані наступним чином: на території станції розгорнута відповідна установка для вимірювань ПЕП і задіяна вимірювальна апаратура. В комплексі це забезпечує автоматичну реєстрацію змін природного електричного поля у 2-ох взаємно перпендикулярних напрямках: північ-південь, захід-схід.

Для маніпуляцій в режимі реального масштабу часу з даними постійних геофізичних спостережень задіяний FTP-сервер vsftpd. Для прийому та зберігання інформації з РГС "Н.Селище" в середовищі FTP виділена директорія [NSEL] , а щоб досягти до цих даних, створені 2 користувачі: один – з мінімальними правами для зчитування даних РГС "Н.Селище" – це віртуальний користувач K1 minvirt і другий – для їх адміністрування – це віртуальний користувач K2 Vak7ed15 (рис.4.2).

Автоматичну передачу даних з РГС "Н.Селище" на FTP-сервер забезпечує прилад "Вістун" [37]. Перед тим програмно було задано у налаштуваннях згаданого приладу login (ім'я) і password (пароль) того віртуального користувача, котрому надані максимальні права доступу до цієї групи даних. У даному випадку – це віртуальний користувач K2 – Vak7ed15, якому відповідає реальний – прилад передачі даних "Вістун" (рис.4.2). Окрім того, у налаштуваннях "Вістуна" вказали і домашню директорію на FTP, куди мають відсилатись дані з РГС – директорія [NSEL] .

Прилад встановлений на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище". Процес збору і передачі постійних даних у системі експрес-аналізу організований наступним чином: прилад "Вістун" формує вимірювальний кадр з виміряних значень канальних напруг (це 2 масиви первинних даних канальних напруг з обох напрямків), протягом доби записує що 5 хв значення у файл і в кінці доби сформований таким чином добовий блок даних автоматично передає на FTP-сервер у вказану домашню директорію від імені віртуального користувача 2.

В процесі роботи системи на FTP постійно надходять файли з даними. Внаслідок цього на сервері формується, так би мовити, своєрідний "архів" первинних даних природного електричного поля, зафіксованих на РГС "Нижнє Селище", що відображають "електричний" портрет вказаної місцевості.

4.5.2. Організація процедур збору, прийому-передачі та зберігання даних польових геофізичних спостережень

У запропонованій автоматизованій системі для маніпуляцій з польовими даними передбачено 2 варіанти прийому та зберігання геофізичної інформації:

- 1) на FTP-сервер – за умов автоматичного збору і передачі даних;
- 2) на Web-сервер – за будь-яких інших умов.

Розроблена модель системи збору, прийому-передачі, доступу, обробки та візуалізації для польових геофізичних спостережень через Web-сервер випробовувалася і тестувалася на польових вимірюваннях у м.Стебник, де досліджувалася надійність земляного насипу дамби методом ЗСБ. За умов, коли функціональні можливості використовуваної апаратури не забезпечують автоматичного запису і передачі сигналів, значення набираються вручну і зберігаються для кожного пікету в окремому файлі. Для подальшої обробки вони відсилаються через Web-сайт на сервер.

Для маніпуляцій з даними польових електромагнітних спостережень в разі використання приладів з автоматичною реєстрацією та передачею, для прийому і зберігання таких даних в режимі реального масштабу часу можливе використання того ж FTP-сервера vsftpd, яким послуговувалися при роботі з постійними даними. На сервері для маніпуляцій з польовими даними також організована відповідна інфраструктура, розроблена своя система користувачів, виділені окремі директорії для прийому і зберігання польової геофізичної інформації, надані певні права доступу усім користувачам. Сервер налаштований на постійний прийом з пунктів будь-якого

географічного розташування та у будь-якій кількості. Так, для польових даних у системі передбачено: окрема домашня директорія для цієї групи даних – [AUX], група користувачів для доступу та маніпуляцій з цією групою даних: перший – з мінімальними правами для зчитування даних – це віртуальний користувач K3 polemin і другий – для їх адміністрування – це віртуальний користувач K4 gosamax (рис.4.2).

В ході польових робіт на FTP періодично надходять файли з даними. В результаті на сервері утворюється, і час від часу поповнюється, своєрідний "територіальний архів" первинних електромагнітних даних, що відображають "електромагнітний" портрет зазначеної території.

Таким чином, 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 "Нижнє 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.4.4, рис.4.5, рис.4.6).

ЕКСПРЕС-АНАЛІЗ

ТЕМ * Зондування становленням поля в ближній зоні * ZSB

Дані	Схема ПК	E1(t)	En(t)	Модель	S(h)	Ro(h)	Доп.	
Список доступних пікетів :								
N	Pro	PK	Latitude	Longitude	Alt	Q	q	File
1	01	01	49.315225	23.575595	314	10	5	ste0101.txt
2	01	02	49.315647	23.575792	314	10	5	ste0102.txt
3	01	03	49.315891	23.576031	314	10	5	ste0103.txt
4	01	04	49.316277	23.576252	314	10	5	ste0104.txt
5	01	05	49.316391	23.576479	314	10	5	ste0105.txt
6	01	06	49.316746	23.576668	314	10	5	ste0106.txt
7	01	07	49.317036	23.576889	314	10	5	ste0107.txt
8	01	08	49.317413	23.577187	314	10	5	ste0108.txt
9	01	09	49.317726	23.577465	314	10	5	ste0109.txt
10	01	10	49.318012	23.577736	314	10	5	ste0110.txt
11	01	11	49.318310	23.578039	314	10	5	ste0111.txt
12	01	12	49.318672	23.578251	314	20	10	ste0112.txt
13	01	13	49.318996	23.578583	314	20	10	ste0113.txt
14	01	14	49.319279	23.578724	314	20	10	ste0114.txt

Browse... No file select + Vybir ... -

Схема ПК на профілі

Криві становлення E1(t) (ПК)

ПРИРОДНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ (ПЕП)

Україна	РГС "Нижнє Селище" (Закарпатська обл., Хустський р-н)	Latitude = 48.197472° Longitude = 23.456028°
<p style="font-size: small;">Режимна геофізична станція "Нижнє Селище"</p> <p style="font-size: small;">Закарпатська область (частинка)</p>	<p style="font-size: small;">Графіки залежностей останнього дня</p> <div style="display: grid; grid-template-columns: 1fr 1fr; gap: 5px;"> <div style="font-size: x-small;"> <p>Графіки ПЕП: K1(t), K2(t), T(t)</p> <p>дата: 20.10.2017 станція: NSEL файл: НС_20_10.log</p> </div> <div style="font-size: x-small;"> <p>Графіки ПЕП: K1(t), K2(t), T(t)</p> <p>дата: 20.10.2017 станція: NSEL файл: НС_20_10.log</p> </div> <div style="font-size: x-small;"> <p>Графіки ПЕП: K1(t), K2(t), T(t)</p> <p>дата: 20.10.2017 станція: NSEL файл: НС_20_10.log</p> </div> <div style="font-size: x-small;"> <p>Графіки ПЕП: K1(t), K2(t)</p> <p>дата: 20.10.2017 станція: NSEL файл: НС_20_10.log</p> </div> </div>	

Рисунок 4.4 – Приклади меню системи експрес-аналізу даних польових спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні та даних моніторингових спостережень методом природного електричного поля

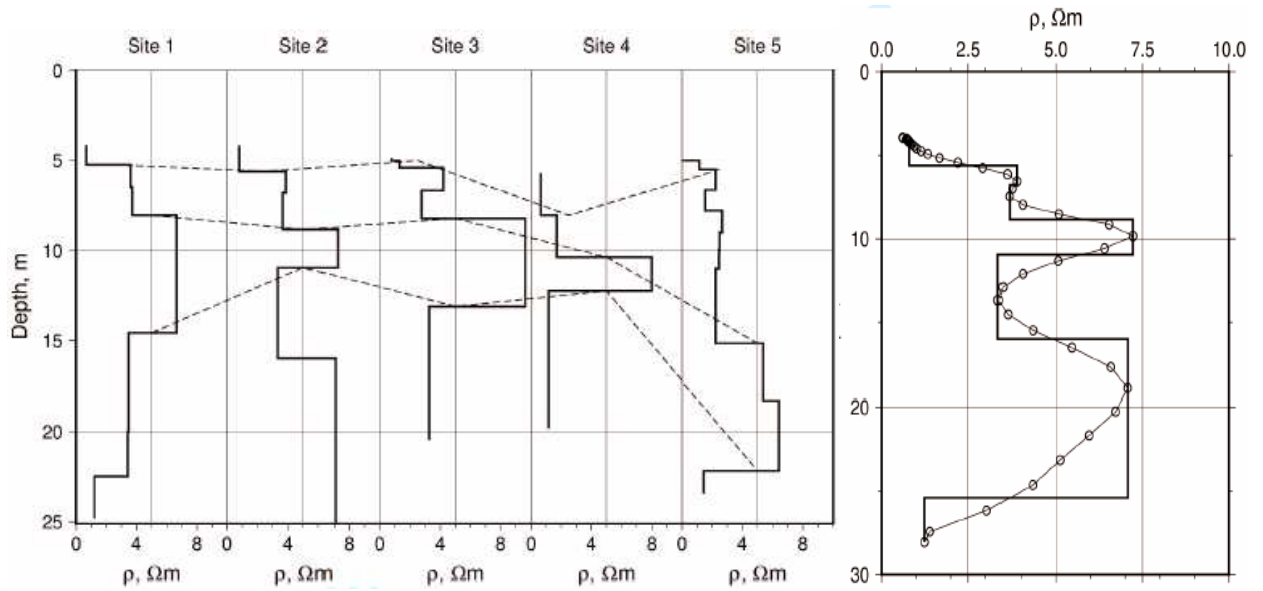


Рисунок 4.5 – Побудовані моделі геоелектричного розрізу для дамби Стебницького родовища калійних солей за даними польових спостережень методом зондування становленням електромагнітного поля в ближній зоні

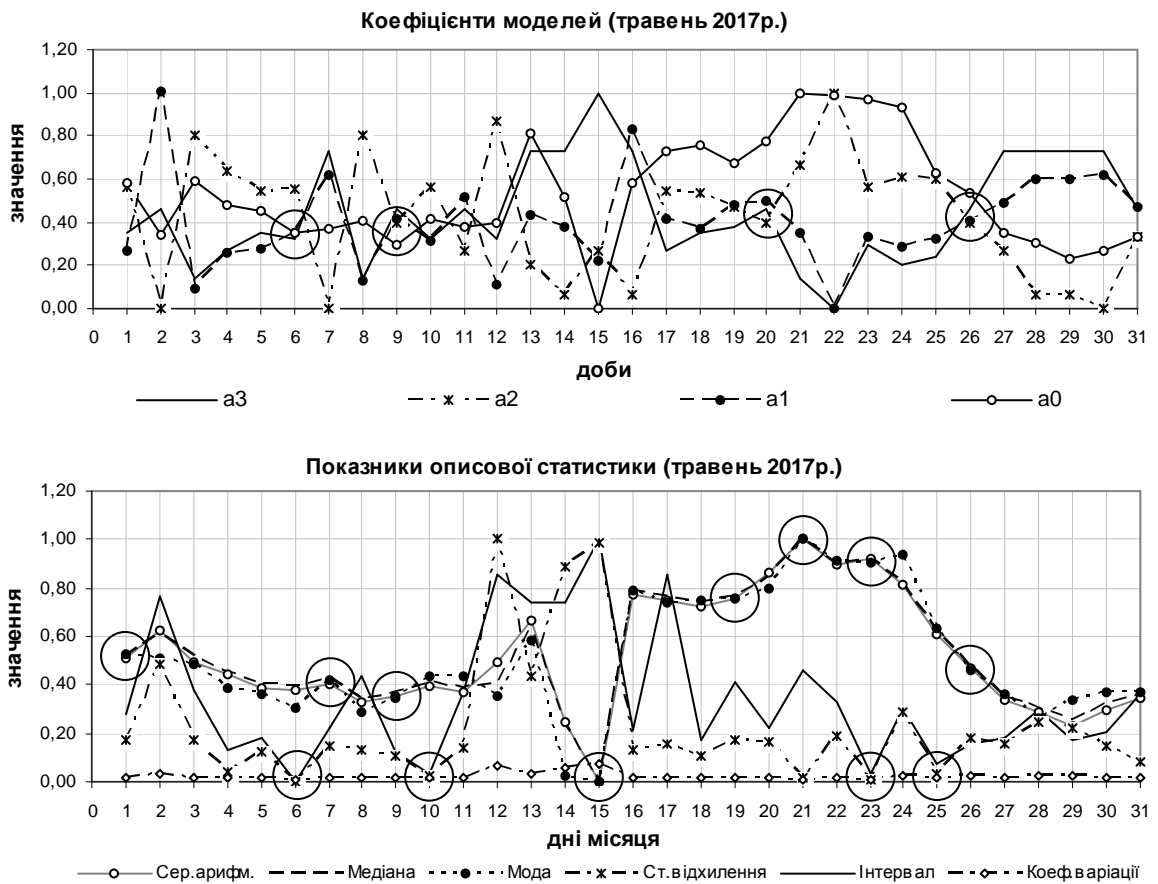


Рисунок 4.6 – Результати експрес-аналізу моніторингових даних методом природного електричного поля на РГС ”Нижнє Селище” за травень 2017р.

4.6. Функціональне призначення автоматизованої системи

Основним функціональним призначенням розробленої системи є автоматизація процесів експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, що охоплює виконання низки допоміжних операцій, службових функцій, а також організацію потрібних підсистем, структурних елементів та модулів. Всі складові АС в сукупності забезпечують роботу з даними в режимі on-line, включаючи такі етапи як:

- реєстрацію та збір первинної геофізичної інформації
- передачу-прийом, зберігання та доступ
- експрес-обробку, аналіз, оцінку
- представлення та візуалізацію як зібраних даних, так і отриманих результатів обробки.

При цьому слід також зазначити, що:

- система прийому-передачі гарантує коректний прийом даних, їх зберігання та адміністрування, а також повний on-line доступ до цієї інформації в мережі INTERNET;
- реєстрація та передача даних геофізичних спостережень відбувається автоматично;
- система дистанційно приймає і передає дані завдяки використанню технології швидкісної пакетної радіопередачі GPRS через мережу GSM;
- геофізична інформація передається і зберігається на FTP-сервері у зручному для подальшого використання форматі без будь-якого додаткового конвертування;
- для on-line доступу до даних організований авторизований вхід на FTP із залученням розгалуженої системи віртуальних користувачів;
- безперервний прийом первинних даних та постійне їх поповнення забезпечує формування довготривалих і великих архівів даних, що можуть слугувати "електромагнітними" портретами досліджуваних територій і використовуватись для подальших вивчень згаданих регіонів.

Автоматизована система експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень є абсолютно цілісним і логічно завершеним апаратно-програмним комплексом, що гарантує централізовану роботу з будь-якими первинними геофізичними даними, починаючи від автоматичної реєстрації та збору, і закінчуючи графічним представленням результатів обробки та аналізу. В системі передбачені необхідні і достатні варіанти для прийому, зберігання і доступу до даних, розроблені відповідні алгоритми експрес-аналізу та обробки, причому вся робота ведеться в on-line режимі. Крім того, є можливість працювати і в off-line. Характерною особливістю, позитивною стороною і перевагою розробленої АС є те, що за такого підходу вся геофізична інформація систематизована, впорядкована, зібрана та збережена на єдиній спільній платформі під єдиною оболонкою. Це гарантує коректну роботу з різними групами даних. Окрім того, вся зібрана геоінформація постійно доступна і через спеціалізовані Web-сайти, що гарантує повноцінну роботу з даними у будь-який момент часу, з будь-якої точки світу і не залежить від використовуваної ОС чи програмного забезпечення, встановленого на клієнтській машині користувача.

4.7. Особливості застосування автоматизованої системи

Розроблена автоматизована система експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень може застосовуватися:

- на будь-якій РГС при постійних моніторингових дослідженнях, де з технічних причин доступний лише мобільний Інтернет;
- в разі відсутності мобільного Інтернету можлива робота в режимі off-line. Для цього на портативному ПК має бути встановлений і відповідним чином налаштований сервер, а усі подальші звернення повинні відбуватися виключно через localhost з IP 127.0.0.1 ;

- при будь-яких геофізичних дослідженнях, де існує найменша загроза чи небезпека для життя людини: вимірювання на забруднених територіях, екологічно-проблемних зонах, в районах карстових провалів, зсувів, обвалів, відпрацьованих шахт і т.д.;
- в польових умовах, де використання портативного ПК обмежене або зведене до мінімуму;
- при важливих тривалих моніторингових дослідженнях, що проводяться в екстремальних умовах без будь-якої участі людини, де перебування людини є обмежене, небезпечне чи взагалі неможливе, а також там, де існує велика імовірність втрати, пошкодження чи руйнування геофізичної апаратури (до прикладу, вивчення активності вулканів, землетрусів).

Оскільки для передачі даних у розробленій системі використовується абсолютно автономний, мобільний, цілком енергонезалежний прилад і передача даних ведеться через GSM-мережу стільникового мобільного зв'язку, яка сьогодні охоплює майже всю територію України, то такий комплекс може працювати практично у будь-якому регіоні чи області нашої країни, забезпечуючи при цьому максимальний та оперативний on-line доступ до даних та їх обробки

Розроблена система може застосовуватися як при постійних геофізичних дослідженнях (наприклад, на РГС), так і при проведенні короткотривалих польових експериментальних спостережень.

Разом із результатами вимірів описаний комплекс може паралельно надсилати і службову чи метрологічну інформацію, на підставі якої можна судити про хід спостережень, режим роботи системи (штатний/позаштатний), стан вимірювальної апаратури, регулярно контролювати за динамічними характеристиками приладів, а також вчасно дистанційно виявляти технічні несправності.

З огляду на те, що всі режими і параметри роботи, а також внутрішні налаштування автоматизованого комплексу задаються програмно як на

стороні вимірювань, так і на приймальній стороні, то таку систему легко можна адаптувати і використовувати не лише при проведенні електророзвідки різними методами (наприклад: зондування становленням поля в ближній зоні, ПЕП, вертикальне електричне зондування), а й при виконанні розмаїтих фундаментальних досліджень.

Висновки до розділу 4: розроблено структурно-функціональну модель інформаційної технології експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, сформульовано основні вимоги до АС з урахуванням характерних особливостей електромагнітних досліджень та специфіки проведення постійних і польових спостережень, розроблено структуру автоматизованої системи, що реалізує інформаційну технологію, описані складові системи, їх призначення та функціонування, викладений принцип організації маніпуляцій з даними постійних та польових спостережень, технічне і програмне забезпечення системи, алгоритм функціонування автоматизованої системи, особливості застосування, результати роботи.

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 подобову 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 10х30 м і до 50% при використанні петель розміром 250х500 м.

4. Удосконалено метод експрес-аналізу моніторингових даних, який, за рахунок інтеграції описової статистики і моделей трендів часових рядів, дає

зможу 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Вербицький С.Т. Сучасний стан та перспективи розвитку сейсмологічних досліджень в Карпатському регіоні України / С.Т.Вербицький, Ю.Т.Вербицький // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 35–37.
2. Вербицький С.Т. Система збору, обробки та аналізу сейсмологічних даних Карпатського регіону / С.Т.Вербицький, О.Т.Стецьків, Ю.Т.Вербицький, Н.І.Рожок, А.Ф.Стасюк, Р.С.Пронишин // Геофиз. журн.. – 2009. – 31, № 1. – С. 125–131.
3. Ганиев А.З. Структура аппаратно–програмного комплекса подразделения сбора и накопления информации Национального центра сейсмологических данных Украины / А.З.Ганиев, И.Ю.Михайлик // Геофиз. журн.. – 2004. – 26, № 4. – С. 108–115.
4. Вербицький Ю.Т. Методичні та прикладні аспекти комплексного банку геофізичної інформації Карпатського регіону : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.–мат. наук : спец. 04.00.22 „Геофізика” / Ю.Т.Вербицький; НАН України, Ін–т геофізики ім. С.І. Субботіна. – К., 2013. – 20 с.
5. Дядюра В.А. Украинская сейсмическая группа. Специализированная цифровая система сбора сейсмической информации / В.А.Дядюра, И.Ю.Михайлик, А.В.Пененко, А.Н.Ситоленко, В.М.Гуков, И.Г.Качалин // Геофиз. журн.. – 2000. – 22, № 3. – С. 78–81.
6. Ганієв О.З. Організація сейсмологічного пункту спостережень на острові Зміїний / О.З.Ганієв, К.В.Петренко, Є.Є.Шеремет, Д.В.Вакулович, В.А.Красний // Геофиз. журн.. – 2011. – 33, № 2. – С. 122–128.
7. Сапужак І.Я. Організація сейсмічного моніторингу атомних електростанцій України // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). – С. 278–280.
8. Вербицький С.Т. Проведення сейсмічних спостережень на тимчасово організованих пунктах у районі розташування Запорізької АЕС /

С.Т.Вербицький, Ю.Т.Вербицький, Р.С.Пронишин, І.Я.Сапужак // Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 115–117.

9. Вербицький С.Т. Використання сейсмічного моніторингу для дослідження впливу техногенних коливань на споруди / С.Т.Вербицький, Ю.Т.Вербицький, О.В.Кендзера, Є.І.Олещук, В.І.Прокопишин, І.Я.Сапужак, А.Ф.Стасюк // Геоінформатика. – 2006. – № 3. – С. 46–52.

10. Дядюра В.А. Автоматизированная система сейсмологических наблюдений / В.А.Дядюра, И.Ю.Михайлик, А.З.Ганиев // Геофиз. журн.. – 2010. – 32, № 1. – С. 45–59.

11. Ганієв О.З. Автоматизована система збору і зберігання сейсмологічних даних : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фіз.-мат. наук : спец. 04.00.22 „Геофізика” / О.З.Ганієв; НАН України. Ін-т геофізики ім. С.І.Субботіна. – К., 2008. – 17 с.

12. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.intermagnet.org> <http://www.intermagnet.org/index-eng.php> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

13. INTERMAGNET. International Real-time Magnetic Observatory Network [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.intermagnet.org/activitymap/activitymap-eng.php> <http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-eng.php?type=xyz> http://www.intermagnet.org/data-donnee/dataplot-1-eng.php?year=2015&month=11&day=27&start_hour=0&end_hour=24&filter_region%5B%5D=America&filter_region%5B%5D=Asia&filter_region%5B%5D=Europe&filter_region%5B%5D=Pacific&filter_region%5B%5D=Africa&filter_lat%5B%5D=NH&filter_lat%5B%5D=NM&filter_lat%5B%5D=E&filter_lat%5B%5D=SM&filter_lat%5B%5D=SH&sort=iaga&iaga_code=BEL&type=xyz&fixed_scale=1&format=png (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

14. USGS Geomagnetism Program [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://geomag.usgs.gov/> <http://geomag.usgs.gov/plots/> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

15. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.ngdc.noaa.gov> <http://www.ngdc.noaa.gov/ngdcinfo/aboutngdc.html> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

16. The National Geophysical Data Center (NGDC) and its sister data centers merged into the National Centers for Environmental Information (NCEI) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/wdc/geomagnetism/data/observatories/definitive> ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/GEOMAGNETIC_DATA (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

17. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.iris.edu/hq/> <http://ds.iris.edu/seismon/> <http://www.iris.edu/hq/programs/gsn> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

18. Incorporated Research Institutions for Seismology (IRIS) [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.usarray.org/researchers/obs/magnetotelluric> http://ds.iris.edu/gmap/_US-MT (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

19. Bernard Dost, Jan Zednik, Jens Havskov, Raymond Willemann and Peter Bormann Seismic Data Formats, Archival and Exchange [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://gfzpublic.gfz-potsdam.de/pubman/item/escidoc:4007:7/component/escidoc:4008/Chapter_10_rev1.pdf (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

20. GSETT-3, Provisional GSE 2.1 Message Formats & Protocols, Operations Annex 3 May 1997 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні

дані. – Режим доступу: http://www.seismo.ethz.ch/export/sites/sedSITE/research-and-teaching/.galleries/pdf_products_software/provisional_GSE2.1.pdf (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

21. SEED Reference Manual Standard for the Exchange of Earthquake Data SEED Format Version 2.4 August, 2012 International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology United States Geological Survey [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://www.fdsn.org/seed_manual/SEEDManual_V2.4.pdf (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

22. IRIS Incorporated Research Institutions for Seismology Data Formats [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

23. IRIS Incorporated Research Institutions for Seismology miniSEED [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/data/formats/miniseed/> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

24. SeismicHandler Reading MiniSEED data into SH/SHM [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.seismic-handler.org/wiki/ShmDocReadMiniseed> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

25. Толстой М.І., Гожик А.П., Рева М.В., Степанюк В.П., Сухорада А.В. Основи геофізики (методи розвідувальної геофізики): Підручник. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2006. – 446с.

26. Электроразведка методом сопротивлений / под ред. В.К.Хмелевского и В.А.Шевнина: Учебное пособие. – Москва : Изд-во МГУ, 1994. – 160с.

27. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / под ред. проф. В.К.Хмелевского, доц. И.Н.Модина, доц. А.Г.Яковлева. – Москва, 2005. – 311с.

28. Metronix Geophysics [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.geo-metronix.de/mtxgeo/> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

29. güralp [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.guralp.com/> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

30. Lviv Centre of Institute for Space Research [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: http://www.isr.lviv.ua/index_ua.htm (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

31. GEOMETRICS Innovation Experience Results [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.geometrics.com/> (дата звернення 01.04.2019) – Назва з екрана.

32. Phoenix Geophysics [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.phoenix-geophysics.com/home/> (дата звернення 01.04.2019) – Назва з екрана.

33. Korepanov V., Ladanivskyy B., Leonov S. New user-friendly program for field data processing // Extended Abstract, 22-nd EM Induction Workshop, Weimar, Germany 24 – 30 August 2014.

34. IRIS Instruments Worldwide provider of instruments Geophysical equipment manufacturer [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.iris-instruments.com> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

35. Zonge International Geophysical Services and Equipment [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.zonge.com> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

36. EPOS European Plate Observing System [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.epos-ip.org> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

37. Підвірний О.І. До питання збору і передачі первинних геофізичних даних в автоматизованих системах // Геодинаміка. – 2013. – № 2(15). – С. 286–288.

38. Cletus C.Blum, Timothy C.White, Edward A.Sauter, Duff C.Stewart, Paul A.Bedrosian, and Jeffrey J.Love Geoelectric monitoring at the Boulder magnetic observatory. *Geoscientific Instrumentation. Methods and Data Systems*. 2017. Vol. 6, No. 2. P. 447-452. <https://doi.org/10.5194/gi-6-447-2017> .

39. David Fuertes, Carlos Toledano, Ramiro Gonzalez, Alberto Berjon, Benjamin Torres, Victoria E.Cachorro, and Angel M. de Frutos CAELIS: software for assimilation, management and processing data of an atmospheric measurement network. *Geoscientific Instrumentation. Methods and Data Systems*. 2018. Vol. 7, No. 1. P. 67-81. <https://doi.org/10.5194/gi-7-67-2018> .

40. Omar Chavez, Jesus Roberto Millan-almarez, Jose Antonio Lopez Cruz-abeyro & Eduardo Rojas Electromagnetic attenuation of eight earthquakes registered in Mexico using FFT-based spectrum and t-test statistical analysis for ULF Q-R ratios signals. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016. Vol. 7, No. 4, P. 1207-1218. <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2015.1047903> .

41. L.Flores-Marquez, J.Marquez-Cruz, A.Ramirez-Rojas, G.Galvez-Coyt, and F.Angulo-Brown A statistical analysis of electric self-potential time series associated to two 1993 earthquakes in Mexico. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2007. Vol. 7, No. 5, P. 549-556. <https://doi.org/10.5194/nhess-7-549-2007> .

42. R.F.Corwin, H.F.Morrison Self-potential variations preceding earthquakes in central California. *Geophysical Research Letters*, 1977. Vol. 4, No. 4, P. 171. <https://doi.org/10.1029/GL004i004p00171> .

43. M.J.S.Johnston Review of electric and magnetic fields accompanying seismic and volcanic activity. *Surveys in Geophysics*, 1997. Vol. 18, No. 5, P. 441-475. DOI: [10.1023/A:1006500408086](https://doi.org/10.1023/A:1006500408086) .

44. K.N.Kappler, H.F.Morrison, G.D.Egbert Long-term monitoring of ULF electromagnetic fields at Parkfield, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2010. Vol. 115, No. B4. <https://doi.org/10.1029/2009JB006421> .

45. G.Colangelo, V.Lapenna, and L.Telesca Vertical dipoles to detect self potential signals in a seismic area of southern Italy: Tito station. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2005. Vol. 5, No. 5, P. 667-671. DOI: [10.5194/nhess-5-667-2005](https://doi.org/10.5194/nhess-5-667-2005) .

46. P.Varotsos, K.Alexopoulos Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes, I. *Elsevier*, 1984. Vol. 110, No. 1-2, P. 73-98. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90059-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90059-3) .

47. P.Varotsos, K.Alexopoulos Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. II. determination of epicenter and magnitude. *Elsevier*, 1984. Vol. 110, No. 1-2, P. 99-125. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(84\)90060-X](https://doi.org/10.1016/0040-1951(84)90060-X) .

48. T.Mogi, Y.Tanaka, D.S.Widarto, E.M.Arsadi, N.T.Puspito, T.Nagao, W.Kanda, and S.Uyeda Geoelectric potential difference monitoring in southern Sumatra, Indonesia-Co-seismic change. *Earth Planets and Space*, 2000. Vol. 52, No. 4, P. 245-252. DOI: [10.1186/BF03351633](https://doi.org/10.1186/BF03351633) .

49. S.Uyeda, T.Nagao, Y.Orihara, T.Yamaguchi, and I.Takahashi Geoelectric potential changes: Possible Precursors to Earthquakes in Japan. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2000. Vol. 97, No. 9, P. 4561-4566. <https://www.jstor.org/stable/122431> .

50. T.Nagao and S.Uyeda The latest aspects of geoelectric potential difference measurements in Japan and future direction of international co-operation in the seismo-volcanic electromagnetic study. https://www.researchgate.net/publication/242286670_THE_LATEST_ASPECTS_OF_GEOELECTRIC_POTENTIAL_DIFFERENCE_MEASUREMENTS_IN_JAPAN_AND_FUTURE_DIRECTION_OF_INTERNATIONAL_CO-OPERATION_IN_THE_SEISMO-VOLCANIC_ELECTROMAGNETIC_STUDY .

51. B.Shirman and A.Shapira Electrotelluric noise minimization for seismoelectric effect detection. *Annals of Geophysics*, 1997. Vol. 40, No. 2, P. 269-280.

52. Y.Enomoto, A.Tsutsumi, Y.Fujinawa, M.Kasahara, H.Hashimoto Candidate Precursors: pulse-like geoelectric signals possibly related to recent seismic activity in Japan. *Geophysical Journal International*, 1997. Vol. 131, No. 3, P. 485-494. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1997.tb06592.x> .

53. VAN method [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/VAN_method (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

54. A.Ramirez-Rojas, A.Munoz-Diosdado, C.G.Pavia-Miller, and F.Angulo-Brown Spectral and multifractal study of electroseismic time series associated to the Mw=6.5 earthquake of 24 October 1993 in Mexico. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2004. Vol. 4, P. 703-709. DOI: [10.5194/nhess-4-703-2004](https://doi.org/10.5194/nhess-4-703-2004).

55. A.Ramirez-Rojas, C.G.Pavia-Miller, F.Angulo-Brown Statistical behaviour of the spectral exponent and the correlation time of electric self-potential time series associate to the Ms=7.4 September 14, 1995 earthquake in Mexico. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2004. Vol. 29, No. 4-9, P. 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.10.001> .

56. Blau L.W. Method and apparatus for geophysical exploration, U.S. Patent No. 1,911,137 . May 1933.

57. Wait J.R. Method of geophysical exploration, U.S. Patent No. 2,735,980. June 1956.

58. George V.Keller Principles of time-domain electromagnetic (TDEM) sounding. *The Leading Edge*, 1997. Vol. 16, No. 4, P. 355-357. <https://doi.org/10.1190/1.1437632> .

59. L.L.Vanyan Electromagnetic Depth Soundings. Selected and Translated by George V.Keller. *Consultants Bureau. New York*, 1967. 316 p. DOI: [10.1007/978-1-4684-0670-2](https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0670-2) .

60. G.F.West and J.C.Macnae Chapter 1. Physics of the Electromagnetic Induction Exploration Method / Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Series: Investigations in Geophysics. Volume 2, Application, Parts A and B. Edited by Misac N.Nabighian, Society of Exploration Geophysicists, 1991. 991 p., P. 5-46. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802686.ch1> .

61. B.R.Spies and F.C.Frischknecht Chapter 5. Electromagnetic Sounding / Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Series: Investigations in Geophysics. Volume 2, Application, Parts A and B. Edited by Misac N.Nabighian, Society of Exploration Geophysicists, 1991. 991 p., P. 285-426. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802686.ch5> .

62. Ladanivskyu B., Zlotnicki J., Reniva P., Alanis P. Electromagnetic signals on active volcanoes: Analysis of electrical resistivity and transfer functions at Taal volcano (Philippines) related to the 2010 seismovolcanic crisis. Journal of Applied Geophysics, 2018. Vol. 156, P. 67-81. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2017.01.033> .

63. Дешиця С.А., Романюк О.І., Підвірний О.І., Коляденко В.В., Сапужак О.Я. Електрометричні спостереження на екологічно проблемних територіях Заходу України // 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: Сполум, 2016. – С. 59-61.

64. Сапужак О.Я., Романюк О.І., Ладанівський Б.Т., Підвірний О.І., Коляденко В.В., Дешиця С.А., Климкович Б.Я., Сироежко О.В. Електророзвідувальні дослідження карстових явищ на території Бартатівського навчально-виховного комплексу (Львівська область) // Актуальні проблеми геосередовища і зондуючих систем. Матеріали III Міжнародної наукової конференції, присвяченої пам'яті видатним українським вченим 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. 95–96.

65. 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.

66. A.A.Gonzalez Carrasquilla, E.Ulugergerli Evaluation of the transient electromagnetic geophysical method for stratigraphic mapping and hydrogeological delineation in Campos Basin, Brazil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 2006. Vol. 24, No. 3. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2006000300003>.

67. M.N.Nabighian and J.C.Macnae Chapter 6. Time Domain Electromagnetic Prospecting Methods / Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Series: Investigations in Geophysics. Volume 2, Application, Parts A and B. Edited by Misac N.Nabighian, Society of Exploration Geophysicists, 1991. 991 p., P. 427-520. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802686.ch6>.

68. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Volume 1, Theory. Edited by Misac N.Nabighian, Society of Exploration Geophysicists, 1988. 531 p. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802631.fm>.

69. Electromagnetic Methods in Applied Geophysics. Volume 2, Application, Parts A and B. Edited by Misac N.Nabighian, Society of Exploration Geophysicists, 1991. 991 p. <https://doi.org/10.1190/1.9781560802686>.

70. D.V.Fitterman and M.T.Stewart Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Society of Exploration Geophysicists*, 1986. Vol. 51, No. 4, P. 889-1033. <https://doi.org/10.1190/1.1442158>.

71. Максимчук В.Ю., Козицький С. З., Кудеравець Р.С., Чоботок І.О., Романюк О.І., Дешиця С.А., Сапужак О.Я. Результати магнітних та електророзвідувальних досліджень на Крехівському газовому родовищі // 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. 172-174.

72. Максимчук В.Ю. 20-річчя Карпатського відділення Інституту геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України / В.Ю.Максимчук., О.Я.Сапужак // Геодинаміка. – 2011. – № 2(11). С. 7–10.

73. Савків Л.Г. Сучасні інформаційні технології в організації геофізичних досліджень / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Геофизический журнал. – 2018. – № 1. – С. 101–110.

74. Б.К. Матвеев Электроразведка: Учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990 – 368 с.

75. Сидоров В.А., Тикшаев В.В. Электроразведка зондированиями становлением поля в ближней зоне. – Саратов, 1969. – 68 с.

76. Рева М.В. Трансформація інформативних сигналів становлення поля в ефективні геоелектричні параметри з використанням інтегральних часових характеристик перехідних процесів / М.В.Рева, Т.В.Руденко, Н.С.Єгорова, Л.П.Андрієвська // Збірник наукових праць „Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики”. – 2010. – Вип.. 7. – С. 110-129.

77. Сидоров В.А. Импульсная индуктивная электроразведка. – М.: Недра, 1985. – 192 с.

78. Arnason K. Central loop transient electromagnetic sounding over a horizontally layered earth. *Orkustofnun, Reykjavik, report OS-89032/JHD-06*, 1989, 128 pp.

79. Danielsen J.E., Auken E., Jorgensen F., Sondergaard V., Sorensen K.I. The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys. *Journal of Applied Geophysics*, 2003, Vol. 53, P. 181–198. doi:10.1016/j.jappgeo.2003.08.004 .

80. Haber E., Oldenburg D.W., Shekhtman R. Inversion of time domain three-dimensional electromagnetic data. *Geophysical Journal International*, 2007, Vol. 171, P. 550–564. doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03365.x .

81. Kamenetsky F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. Transient Geoelectromagnetics. *Munich, Ludwig-Maximilian University, Vela Verlag*, 2010, 304pp.

82. McNeill J.D Applications of transient electromagnetic techniques. *Geonics Ltd., Ontario*, technical note TN 7, 1980, 17 pp.

83. Meju M.A. Simple effective resistivity- depth transformations for infield or real-time data processing. *Computer & Geosciences*, 1995, Vol. 21, P. 985-992.

84. Meju M.A. A simple method of transient electromagnetic data analysis. *Geophysics*, 1998, Vol. 63, No. 2, P. 405-410.

85. Newman G. A. and Commer M. New advances in three dimensional transient electromagnetic inversion. *Geophysical Journal International*, 2005, Vol. 160, P. 5–32. doi.org/10.1111/j.1365-246X.2004.02468.x .

86. Ruthsatz A.D., Flores A.S., Diaz D., Reinoso P.S., Herrera C., Brasse H. Joint TEM and MT aquifer study in the Atacama Desert, North Chile. *Journal of Applied Geophysics*, 2018, Vol. 153, P. 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.04.002> .

87. Xue G.-Q., Bai C.-Y., Yan S., Greenhalgh S., Li M.-F., Zhou N.-N. Deep sounding TEM investigation method based on a modified fixed central-loop system. *Journal of Applied Geophysics*, 2012, Vol. 76, P. 23–32. doi:10.1016/j.jappgeo.2011.10.007 .

88. Zhdanov M.S., Portniaguine O. Time-domain electromagnetic migration in the solution of inverse problems. *Geophysical Journal International*, 1997, Vol. 131, P. 293-309. doi:10.1111/j.1365-246X.1997.tb01223.x .

89. ZOND [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <http://www.zond-geo.com> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

90. TDEM Geomodel Shareware web app for inversion EM data [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://geomodel.info> (дата звернення 06.05.2019) – Назва з екрана.

91. Савків Л.Г. Розробка структур файлів для оптимального відображення первинних електромагнітних даних геофізичних досліджень / Л.Г.Савків // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Інформаційні системи та мережі. – 2018. – № 887. – С. 105–115.

92. Патент на корисну модель а2015 12541 Україна Спосіб побудови підсистеми зв'язку та передачі даних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) / С.А.Дешиця, О.І.Підвірний, Л.Г.Савків. – № 116272, дата подання – 18.12.2015, опубл. 10.05.2017р., Бюл. № 9.

93. 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.Мищишин // 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.

94. Хмелевской В.К., Костицын В.И. Основы геофизических методов: учебник для вузов. – Перм. ун-т. Пермь, 2010. – 400с.

95. Соколов А.Г., Черных Н.В. Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. – Оренбург. – 2015. – 143с.

96. Бахрушин В.Є. Математичні основи моделювання систем: навч. посіб. – Запоріжжя: Класичний приватний Університет, 2009. – 224с.

97. Соловійов В.М., Соловійова В.В., Хараджян Н.А. Моделювання складних систем: навч. посіб. – Кривий Ріг: Видавничий відділ Н Мет АУ, 2010. – 119с.

98. 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> .

99. Бабенко В.В. Основи теорії ймовірностей і статистичні методи аналізу даних у психологічних і педагогічних експериментах: навч. посіб. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім.Івана Франка, 2009. – 184с.

100. Руденко В.М. Математична статистика. Навч. посіб. - К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304с.

101. Статистические методы для ЭВМ / под ред. К.Энслейна, Э.Рэлстона, Г.С.Уилфа: пер. с англ. / под ред. М.Б.Малютова. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 464с.

102. 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 (AISC, Vol.902). Advances in Artificial Systems for Medicine and Education II. Springer, Cham. – P. 617 – 627. DOI: 10.1007/978-3-030-12082-5_56 .

103. Савків Л.Г. Модуль візуалізації первинних геофізичних даних / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”. Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2016. – № 843. – С. 65–73.

104. 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.

105. 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. Харківський національний університет радіоелектроніки. – 2018. – № 2(91). – С. 60–65.

106. 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. Верхнє Синьовидне, 1–2 червня 2017р.). – Львів: Сполом, 2017. – С. 81–84.

107. Савків Л.Г. Застосування Web-технологій для візуалізації геофізичних даних в режимі on-line / Л.Г.Савків, Б.Т.Ладанівський // Актуальні проблеми геосередовища і зондуючих систем: матеріали III Міжнародної наукової конференції, присвяченої пам'яті видатним українським вченим 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.

108. Савків Л.Г. Система дистанційного прийому-передачі даних геофізичних спостережень / Л.Г.Савків // Геоінформатика. – 2016. – № 2. – С. 59–67.

109. Смит Р. Сетевые средства Linux: Пер. с англ. / Р.Смит – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 592 с.

110. Матросов А.В., Сергеев А.О., Чаунин М.П. HTML 4.0. – СПб.: БХВ-Петербург, 2001. – 672с.

111. Гаєвський О.Ю., Романовський В.О. Самовчитель по створенню Web-сторінок: HTML, JavaScript і Dynamic HTML (рос. мовою). – К.: А.С.К., 2002. – 472с.

112. Квинт И. Создаем сайты с помощью HTML, XHTML и CSS. – Издательский дом "Питер", 2012 – 448с.

113. Фельке-Моррис Терри Большая книга веб-дизайна ; пер. с англ. Н.А.Райтмана. – М.: Эксмо, 2012. – 608с.

114. Вайк Аллен и др. JavaScript. Энциклопедия пользователя: Пер. с англ. / Аллен Вайк. – К.: Издательство „ДиаСофт”, 2001. – 464с.

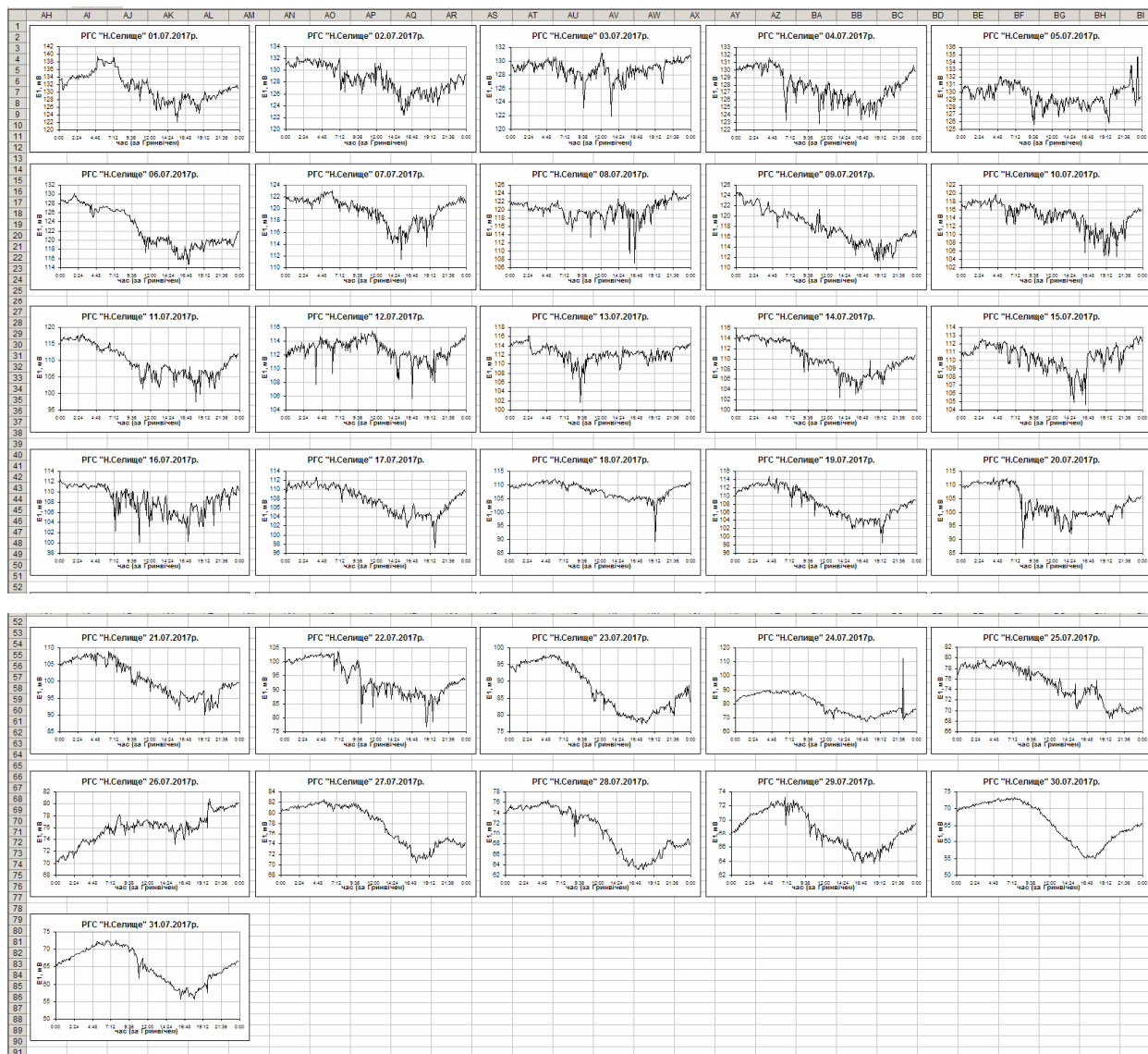
115. Django [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Django> (дата звернення 25.04.2017) – Назва з екрана.
116. Ruby on Rails [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ruby_on_Rails (дата звернення 25.04.2017) – Назва з екрана.
117. Дунаев В.В. Сценарии для Web-сайта: PHP и JavaScript, 2 изд. – БХВ-Петербург, 2012 – 576с.
118. Прохоренок Н.А. Python 3 и PyQt. Разработка приложений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 704с.
119. GNU Octave [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://octave.org/doc/v4.0.0/index.html> (дата звернення 01.06.2019) – Назва з екрана.
120. Адельштайн Т., Любанович Б. Системное администрирование в Linux. – СПб.: Питер, 2010. – 288с.
121. Операционная система Linux: Курс лекций. Учебное пособие / Г.В.Курячий, К.А.Маслинский – М.: ALT Linux; Издательство ДМК ПРЕСС, 2010. – 348с.

ДОДАТКИ

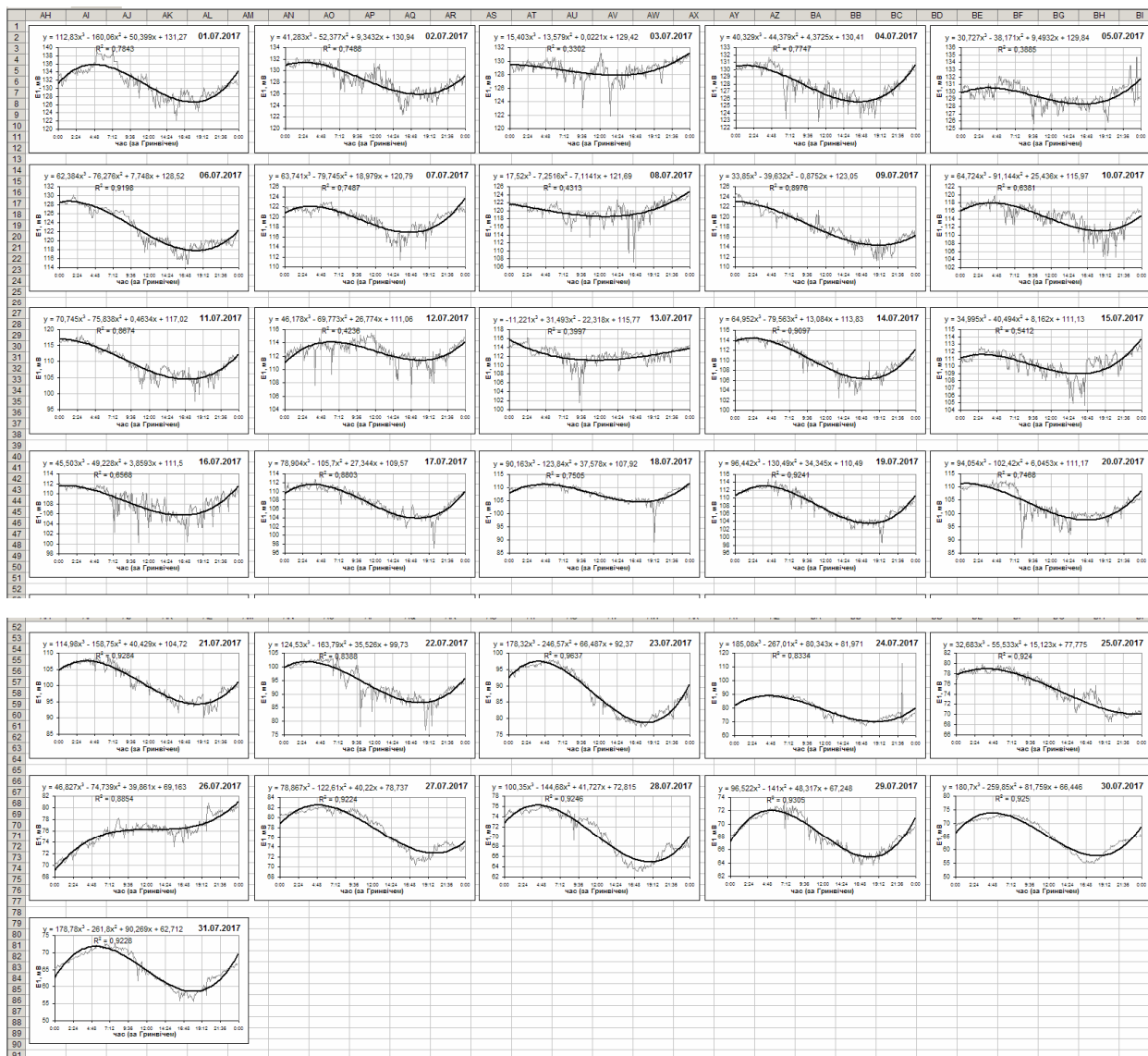
Додаток А. Зареєстровані значення природного електричного поля
з 5-хвилинним інтервалом за липень 2017 року

№	год:хв	01.07.2017	02.07.2017	03.07.2017	...	15.07.2017	...	29.07.2017	30.07.2017	31.07.2017
1	0:00	133,22	131,17	129,48		110,91		68,13	69,66	65,4
2	0:05	133,19	131,01	129,38		110,65		68,24	69,52	65,59
3	0:10	133,27	131,2	129,51		111,03		68,28	69,34	65,27
4	0:15	133,5	131,27	129		110,5		68,36	69,79	65,61
5	0:20	133,58	131,6	129,06		110,85		68,39	69,74	66,32
6	0:25	131,64	131,28	128,48		111,08		68,24	70,19	66,1
7	0:30	130,87	131	128,32		110,92		68,73	69,78	66,21
8	0:35	130,57	130,83	128,56		110,72		68,41	70,16	65,79
9	0:40	131,22	130,66	128,36		110,8		68,5	69,86	65,92
10	0:45	132,13	130,92	128,52		110,55		68,55	70,25	65,93
11	0:50	132,03	130,67	129,35		110,77		68,87	70,38	66,38
12	0:55	131,81	130,73	129,43		110,56		68,62	70,46	66,79
13	1:00	131,7	130,37	128,72		110,7		69,26	70,79	66,52
14	1:05	132,74	130,8	129,24		110,56		69	70,47	67,02
15	1:10	132,94	131,26	128,54		110,67		69,53	70,13	66,66
16	1:15	133,1	130,51	128,71		111,12		69,54	70,46	66,59
133	11:00	133,48	128,69	128,86		109,3		67	68,64	64,99
134	11:05	132,97	129,13	127,96		109,55		67,68	68,33	66,16
135	11:10	132,82	129,48	128,05		109		68,81	67,76	66,63
136	11:15	132,8	129,23	129,27		108,05		68,7	68,02	67,06
137	11:20	132,02	127,88	127,36		108,97		68,61	67,7	67,43
138	11:25	132,52	129,67	128,88		108,6		68,48	67,75	64,3
139	11:30	132,48	129,33	128,7		108,51		68,07	67,47	64,89
140	11:35	132,33	129,45	128,79		110,41		67,82	67,1	65,07
141	11:40	133,6	129,37	129,72		109,57		67,71	66,62	65,82
142	11:45	132,09	127,81	129,12		110		66,08	66,89	64,88
143	11:50	130,87	131,24	129,3		110,08		68,08	66,38	63,6
144	11:55	130,41	130,05	130,42		110,18		67,47	66,59	64,88
145	12:00	129,65	127,33	130,58		109,31		67,37	66,38	64,15
146	12:05	129,87	129,16	131,03		109,94		67,63	66,32	63,67
262	21:45	129,51	126,24	130,54		111,32		68,33	63,37	63,48
263	21:50	130,6	126,56	129,67		111,65		68,28	63,77	64,37
264	21:55	130,29	128,62	129,98		111,72		68,36	63,23	64,3
265	22:00	130,29	128,65	129,67		111,71		67,91	63,26	64,68
266	22:05	130,68	128,14	130,09		111,56		68,11	63,83	64,6
267	22:10	130,76	128,28	129,99		111,53		68,2	63,57	64,7
268	22:15	130,6	127,91	130,78		111,52		67,84	63,99	64,55
269	22:20	130,04	127,88	129,77		111,89		67,96	63,57	64,44
270	22:25	131,19	127,25	130,08		111,69		68,29	63,53	64,43
271	22:30	131,14	126,64	129,82		111,7		68,47	63,67	65,01
272	22:35	130,48	128,06	130,36		111,63		68,28	63,92	65,25
273	22:40	131,38	127,71	130,6		111,88		68,23	63,75	65,29
274	22:45	130,38	127,8	129,55		111,34		68,84	64,3	65,1
275	22:50	130,96	128,56	129,93		112,54		68,33	64,64	65,36
276	22:55	131,17	129	129,76		112,6		68,47	64,71	65,81
277	23:00	131,32	129,38	129,76		112,47		68,73	64,98	65,75
278	23:05	131,34	128,87	129,95		112,61		68,59	65,19	65,79
279	23:10	131,2	128,91	130,31		112,94		68,9	65,06	65,95
280	23:15	131,19	128,92	130,47		112,54		68,54	64,74	66,01
281	23:20	131,29	128,23	130,48		112,35		68,97	65,38	65,53
282	23:25	131,69	128,18	130,67		111,95		69,32	64,93	65,6
283	23:30	131,68	128,21	130,37		112,19		68,88	65,19	65,88
284	23:35	131,29	127,45	130,33		112,32		69,24	64,75	66,34
285	23:40	131,84	127,71	130,55		112,91		69,17	64,97	66,72
286	23:45	131,32	128,92	130,84		112,73		69,23	65,25	66,43
287	23:50	130,93	129,14	130,92		112,8		69,41	65,76	66,76
288	23:55	130,92	129,47	130,53		112,25		69,61	65,23	66,96

Додаток Б. Подобова динаміка показників природного електричного поля,
зарєєстрованого на режимній геофізичній станції "Нижнє Селище"
у липні 2017 року



Додаток В. Апроксимовані тренди подобових даних природного електричного поля з РГС "Нижнє Селище" за місяць липень 2017 року (01.07.2017р. – 31.07.2017р.)



Додаток Г. Результати апроксимації даних для одного місяця подовово

Доби з/п	Коефіцієнти поліному				R ²	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
3	15,403	-13,579	0,0221	129,42	0,3302	128,75
4	40,329	-44,379	4,3725	130,41	0,7747	127,89
5	30,727	-38,171	9,4932	129,84	0,3885	129,55
6	62,384	-76,276	7,748	128,52	0,9198	122,58
7	63,741	-79,745	18,979	120,79	0,7487	119,63
8	17,52	-7,2516	-7,1141	121,69	0,4313	120,09
9	33,85	-39,632	-0,8752	123,05	0,8976	117,87
10	64,724	-91,144	25,436	115,97	0,6381	114,49
11	70,745	-75,838	0,4634	117,02	0,8674	109,67
12	46,178	-69,773	26,774	111,06	0,4236	112,73
13	-11,221	31,493	-22,318	115,77	0,3997	112,30
14	64,952	-79,563	13,084	113,83	0,9097	110,09
15	34,995	-40,494	8,162	111,13	0,5412	110,46
16	45,503	-49,228	3,8593	111,5	0,6568	108,40
17	78,904	-105,7	27,344	109,57	0,8803	107,73
18	90,163	-123,84	37,578	107,92	0,7505	107,96
19	96,442	-130,49	34,345	110,49	0,9241	108,28
20	94,054	-102,42	6,0453	111,17	0,7468	103,57
21	114,98	-158,75	40,429	104,72	0,9284	100,76
22	124,53	-163,79	35,526	99,73	0,8388	94,04
23	178,32	-246,57	66,487	92,37	0,9637	88,01
24	185,08	-267,01	80,343	81,971	0,8334	79,41
25	32,683	-55,533	15,123	77,775	0,924	75,01
26	46,827	-74,739	39,861	69,163	0,8854	75,87
27	78,867	-122,61	40,22	78,737	0,9224	77,70
28	100,35	-144,68	41,727	72,815	0,9246	70,54
29	96,522	-141	48,317	67,248	0,9305	68,53
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

Додаток Д. Результати розрахунку показників описової статистики

Дата	День з/п	Показники описової статистики					
		Міри центральної тенденції			Міри варіації		
		середнє арифметичне	медіана	мода	стандартне відхилення	розмах (інтервал)	коефіцієнт варіації
01.07.2017	1	131,32	131,09	138,53	3,66	17,17	0,03
02.07.2017	2	128,48	128,57	128,92	2,32	9,77	0,02
03.07.2017	3	128,75	128,94	129,00	1,34	9,27	0,01
04.07.2017	4	127,89	127,77	130,51	2,03	8,83	0,02
05.07.2017	5	129,55	129,49	130,66	1,40	9,05	0,01
06.07.2017	6	122,58	120,61	126,56	4,16	15,38	0,03
07.07.2017	7	119,63	120,30	121,29	2,25	11,61	0,02
08.07.2017	8	120,09	120,34	120,41	2,29	17,55	0,02
09.07.2017	9	117,87	117,40	120,03	3,27	13,37	0,03
10.07.2017	10	114,49	115,33	116,09	3,15	15,22	0,03
11.07.2017	11	109,67	108,68	108,45	4,61	20,57	0,04
12.07.2017	12	112,73	113,01	113,22	1,49	9,77	0,01
13.07.2017	13	112,30	112,39	112,17	1,83	14,58	0,02
14.07.2017	14	110,09	109,82	114,06	3,09	12,31	0,03
15.07.2017	15	110,46	110,78	111,42	1,54	8,27	0,01
16.07.2017	16	108,40	108,93	111,60	2,59	12,09	0,02
17.07.2017	17	107,73	108,11	111,15	2,94	15,55	0,03
18.07.2017	18	107,96	108,66	110,23	2,78	22,89	0,03
19.07.2017	19	108,28	108,03	112,96	3,57	16,18	0,03
20.07.2017	20	103,57	102,37	111,53	5,56	25,62	0,05
21.07.2017	21	100,76	99,62	98,66	5,11	18,96	0,05
22.07.2017	22	94,04	92,56	99,76	6,03	27,07	0,06
23.07.2017	23	88,01	86,45	96,95	6,91	20,58	0,08
24.07.2017	24	79,41	77,05	87,89	7,48	45,59	0,09
25.07.2017	25	75,01	75,63	69,92	3,40	11,28	0,05
26.07.2017	26	75,87	76,11	76,35	2,46	10,81	0,03
27.07.2017	27	77,70	79,02	81,06	3,78	12,16	0,05
28.07.2017	28	70,54	71,87	75,16	4,31	13,35	0,06
29.07.2017	29	68,53	68,40	68,24	2,59	9,54	0,04
30.07.2017	30	65,88	66,38	71,88	5,92	18,26	0,09
31.07.2017	31	65,26	65,56	65,79	4,78	16,93	0,07

Додаток Є. Опис алгоритму роботи програмного модуля візуалізації

1. Описуються глобальні змінні, масиви, задаються початкові значення.
2. Перевіряється наявність хоча б одного файлу даних:
 - якщо такого файлу немає – на екрані виводиться відповідне повідомлення і програма закінчує свою роботу;
 - у протилежному разі:
 - а) організовується перебір у поточній директорії усіх файлів даних і для кожного знайденого:
 - зчитується номер пікету, його географічні координати (longitude, latitude);
 - формується новий рядок у списку пікетів і виводиться у спеціально виділену для нього область (ListBox);
 - б) всі зчитані пікети за своїми координатами наносяться на карту польових робіт (Series1);
 - в) задається номер поточного пікету;
 - г) виміряні значення сигналів на поточному пікеті (масиви: часу t , $e_1(t)$, $e_2(t)$) виводяться у спеціальну виділену область (StringGrid1);
 - д) за зчитаними даними зареєстрованих значень на поточному пікеті будується графік перехідних процесів $E(t)$ і відображається у виділеній для нього області (Series2).

Додаток Ж. Список публікацій здобувачки 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.Мищишин // Наука та інновації. – 2016. – Т. 12, № 5. – С.

47–59. укр.doi: <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> 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: 2nd 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. Верхнє 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 зондуючих 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.Дешиця, О.І.Підвірний, Л.Г.Савків – заявл. 18.12.2015, опубл. 10.05.2017р., Бюл. № 9.

Додаток 3. Акти впровадження результатів дисертаційного дослідження

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор КВ ІГФ НАН України
 член-кореспондент НАН України
 доктор фіз.-мат. наук, професор
 В.Ю. Максимчук
 03 квітня 2019р.



АКТ

про впровадження та використання результатів дисертаційної роботи
 „Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень”
 Савків Лідії Григорівни

Цей акт засвідчує, що наукові та практичні результати дисертаційної роботи Савків Л.Г. за темою „Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень”, представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, впроваджені та використовуються у науково-дослідній, фундаментальній та прикладній, методичній та виробничій діяльності КВ ІГФ НАН України для здійснення геофізичних досліджень та спостережень.

Зокрема, під час виконання науково-дослідних робіт, проведенні геофізичних спостережень, зборі та обробці даних використовуються:

- методи та підходи щодо організації on-line-систем збору, прийому-передачі, доступу та візуалізації геофізичних даних, що забезпечує формування та поповнення баз даних та надає доступ до них у режимі реального масштабу часу;
- метод експрес-аналізу даних неперервних спостережень на підставі використання апарату описової статистики та моделювання трендів часових рядів для виявлення однакових за параметрами ситуацій;
- метод побудови моделі геоелектричного розрізу для експрес-аналізу даних польових електророзвідувальних спостережень, у тому числі і в режимі реального масштабу часу, для покращення ефективності проведення геофізичних досліджень;
- інформаційну технологію експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень, яка забезпечує в режимі on-line збір, прийом-передачу, доступ, візуалізацію геофізичних даних та дозволяє підвищити надійність і достовірність інтерпретації результатів спостережень;
- окремі програмні модулі апаратно-програмного комплексу використовуються як елементи спеціалізованого програмного забезпечення технічних засобів геофізичних спостережень.

Вчений секретар
 к.ф.-м.н.

О.Я.Сапужак

Завідувач відділу
 геоелектромагнітних методів
 к.ф.-м.н., ст.н.с.

Б.Т.Ладанівський

Старший науковий співробітник
 к.г.-м.н.

С.А.Дешиця



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ЛЦ КСД НАН та ДКА України
НАН та ДКА
України

А. А. Лукенюк

3 квітня 2019 р.

АКТ

про впровадження та використання результатів дисертаційної роботи

Савків Лідії Григорівни

„Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень”

Даний акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Савків Л. Г. за темою „Інформаційна технологія експрес-аналізу даних геоелектромагнітних спостережень”, поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, впроваджені та використовуються у дослідницькій та виробничій діяльності Львівського центру Інституту космічних досліджень, а саме:

- алгоритми та засоби візуалізації первинних експериментальних даних, що дозволить оперативно оцінити якість даних та отримати максимально достовірний результат вимірювань;
- інформаційна технологія візуалізації польових геофізичних даних та їх експрес-аналізу в режимі on-line, що дозволяє оцінити якість даних безпосередньо під час польових робіт;
- в процесі розробки та створення геофізичних приладів і систем вимірювань окремі програмні засоби використовуються як елементи спеціалізованого програмного забезпечення, зокрема для приладів ЛЕМІ-423.

Заступник директора, д. т. н.

В. Є. Корепанов