

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет природничих наук  
Кафедра нафтогазової геофізики

Кузьо Богдан Богданович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 550.834.2:550.834.5

(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Оптимізація параметрів вібраційного збудження та методики  
групування геофонів за результатами дослідно-методичних  
досліджень (на прикладі Щербаківської площі)

(назва роботи)

Геофізика

(назва освітньої програми)

E4 Науки про Землю

(шифр і назва спеціальності)

Б.Б. Кузьо

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Розловська Світлана Євгеніївна, канд. геол. наук,

доцент кафедри нафтогазової геофізики

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

(посада)

В. В. Федорів

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

**Рецензент**

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківськ – 2025

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет природничих наук \_\_\_\_\_  
Кафедра нафтогазової геофізики \_\_\_\_\_  
Освітній рівень магістр \_\_\_\_\_  
Спеціальність Е4 Науки про Землю \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри НГГ**  
\_\_\_\_\_ В.В. Федорів  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

Студентові \_\_\_\_\_ Кузьо Богдану Богдановичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація параметрів вібраційного збудження та методики групування геофонів за результатами дослідно-методичних досліджень (на прикладі Щербаківської площі) \_\_\_\_\_

керівник роботи: Розловська Світлана Євгеніївна, кандидат геологічних наук, доцент кафедри нафтогазової геофізики \_\_\_\_\_,

затвержені наказом закладу вищої освіти

2. Строк подання студентом роботи 18.12.2025 р. \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела та інтернет-ресурси, геолого-геофізичні фондові матеріали, опрацьовані під час переддипломної практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити 1) Сучасний стан оптимізації параметрів вібраційного збудження та методологій приймальних систем у наземній сейсмічній розвідці, 2) Загальна характеристика щербаківської площі; 3) Дослідно-методичні роботи в сейморозвідці; 4) Виконання дослідно-методичних робіт та підбір оптимальних параметрів збудження та приймання сейсмічного сигналу

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
презентаційна графіка \_\_\_\_\_

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 03.11.2025**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Формулювання проблеми і актуальності теми	05.11.2025	
2	Аналіз сучасного стану оптимізації параметрів вібраційного збудження та методологій приймальних систем у наземній сейсмічній розвідці	15.11.2025	
3	Огляд геологічної будови району робіт	21.11.2025	
4	Опис дослідно-методичних робіт в сейсморозвідці	27.11.2025	
5	Підбір оптимальних параметрів збудження та приймання сейсмічного сигналу	09.12.2025	
6	Формулювання висновків	10.12.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентаційної графіки	18.12.2025	

Студент

( підпис )

Б.Б. Кузьо

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

( підпис )

С.Є. Розловська

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерську роботу викладено на 65 сторінках, містить 38 рисунків, 3 таблиці, 15 використаних джерел.

У роботі розглянуто комплекс дослідно-методичних робіт, спрямованих на оптимізацію параметрів вібраційного збудження та методики приймання сейсмічних сигналів у специфічних сейсмогеологічних умовах Щербаківської площі. Проведений аналіз сучасних світових та вітчизняних підходів до удосконалення вібросейсмічної розвідки охоплює особливості нелінійної взаємодії системи «вібратор-грунт», оптимізацію частотного діапазону свіп-сигналів, а також еволюцію методик групування геофонів у напрямку високошільних цифрових систем.

У ході дослідно-методичних робіт виконано тестування різних варіантів збудження й прийому: визначення раціональних робочих частот, підбір довжини свіп-сигналу, потужності вібраторів, кількості накопичень, вибір ефективної методики групування геофонів. За результатами аналізу амплітудно-частотних характеристик, спектрів та рівня шумових завад встановлено оптимальні параметри збудження й прийому, рекомендовані до застосування під час виробничої 3D-сейсмозвідки. Робота містить практичні висновки та рекомендації, що підвищують якість і достовірність сейсмічних даних, а також ефективність подальшої структурно-геологічної інтерпретації.

ВІБРОСЕЙСМІЧНЕ ЗБУДЖЕННЯ; СВІП-СИГНАЛ; ГЕОФОНИ;  
ГРУПУВАННЯ ПРИЙМАЧІВ; СЕЙСМІЧНИЙ СИГНАЛ; СПІВВІДНОШЕННЯ  
СИГНАЛ/ШУМ; ДОСЛІДНО-МЕТОДИЧНІ РОБОТИ

## ABSTRACT

Contents of Master's thesis: 65 pages, 38 illustrations, 3 tables, 15 literature cited.

The work considers a set of experimental and methodological studies aimed at optimising the parameters of vibration excitation and methods for receiving seismic signals in the specific seismological conditions of the Shcherbakivska area. The analysis of modern global and domestic approaches to improving vibroseismic exploration covers the features of nonlinear interaction between the 'vibrator-soil' system, optimisation of the frequency range of sweep signals, and the evolution of geophone grouping methods towards high-density digital systems.

In the course of experimental and methodological work, various excitation and reception options were tested: determination of rational operating frequencies, selection of sweep signal length, vibrator power, number of accumulations, selection of an effective method for grouping geophones. Based on the results of the analysis of amplitude-frequency characteristics, spectra, and noise interference levels, the optimal excitation and reception parameters recommended for use in production 3D seismic exploration were established. The work contains practical conclusions and recommendations that improve the quality and reliability of seismic data, as well as the effectiveness of further structural and geological interpretation.

VIBROSEISMIC EXCITATION; SWIPE SIGNAL; GEOPHONES;  
RECEIVER GROUPING; SEISMIC SIGNAL; SIGNAL-TO-NOISE RATIO;  
RESEARCH AND METHODOLOGICAL WORK

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 СУЧАСНИЙ СТАН ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ЗБУДЖЕННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЙ ПРИЙМАЛЬНИХ СИСТЕМ У НАЗЕМНІЙ СЕЙСМІЧНІЙ РОЗВІДЦІ .....	9
1.1 Оптимізація вібраційного збудження: нелінійна динаміка та дизайн розгортки.....	9
1.2 Еволюція методик групування геофонів та цифрова революція приймальних систем.....	12
2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЩЕРБАКІВСЬКОЇ ПЛОЩІ...	15
2.1 Орогідрографія та загальні відомості.....	15
2.2 Геологічна характеристика об'єкту робіт.....	16
2.3 Сейсмогеологічні умови .....	21
3 ДОСЛІДНО-МЕТОДИЧНІ РОБОТИ В СЕЙСМОРОЗВІДЦІ .....	24
3.1 Поняття та призначення дослідно-методичних робіт .....	24
3.2 Основні задачі дослідно-методичних робіт в сейсморозвідці .....	25
3.3 Методи проведення та етапи виконання дослідно- методичних робіт .....	29
4 ВИКОНАННЯ ДОСЛІДНО-МЕТОДИЧНИХ РОБІТ ТА ПІДБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБУДЖЕННЯ ТА ПРИЙМАННЯ СЕЙСМІЧНОГО СИГНАЛУ.....	33
4.1 Вибір місця для розташування дослідних пікетів збудження.....	33
4.2 Дослідження параметрів реєстрації сейсмічних даних.....	38

4.3 Виконання дослідно-методичних робіт з використанням сейсмічних вібраторів і підбір оптимальних параметрів збудження.	43
4.4 Контроль роботи вібраційних джерел збудження.....	55
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

## ВСТУП

Сейсморозвідка на сучасному етапі розвитку нафтогазової галузі відіграє ключову роль у формуванні достовірних геологічних моделей, підвищенні точності прогнозування будови розрізу та мінімізації ризиків під час пошуково-розвідувальних робіт. З огляду на зростання вимог до якості сейсмічних даних та поширення високоцільних широкосмугових технологій, особливої важливості набуває оптимізація параметрів збудження і приймання сейсмічного сигналу. В умовах складного рельєфу, різко змінних фізичних властивостей приповерхневих відкладів і неоднорідної геологічної будови, які характерні для Щербаківської площі, без попереднього виконання дослідно-методичних робіт отримання якісних сейсмічних записів є вкрай ускладненим. Саме тому виникає потреба у визначенні раціональних параметрів роботи вібраційних джерел та ефективного способу групування геофонів.

**Актуальність роботи** полягає в необхідності підвищення інформативності, стабільності та широкосмуговості сейсмічних сигналів у специфічних умовах Щербаківської площі.

**Мета роботи** полягає у комплексній оптимізації параметрів вібраційного збудження та приймання сейсмічного сигналу шляхом проведення дослідно-методичних робіт на Щербаківській площі з подальшим обґрунтуванням рекомендацій для виробничої 3D-сейсморозвідки.

**Для досягнення мети було поставлено такі завдання:**

1. Проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку методів оптимізації віброрейсмічного збудження та приймальних систем.
2. Охарактеризувати геологічні, орографічні та сейсмогеологічні умови Щербаківської площі, що впливають на поширення хвильового поля.
3. Виконати комплекс дослідно-методичних тестів для визначення оптимальних параметрів свіп-сигналу.

4. Дослідити вплив потужності вібраторів та кількості джерел у групі на якість записів.

5. Порівняти різні методики групування геофонів за рівнем шумових завад, спектральними характеристиками та стійкістю сигналу.

6. Узагальнити результати та розробити рекомендації щодо оптимальних параметрів збудження і приймання для виробничих сейсмічних робіт на досліджуваній площі.

**Об'єкт дослідження:** процес збудження та реєстрації сейсмічних хвиль у наземній вібророзвідці.

**Предмет дослідження:** параметри вібраційного збудження та методи групування й розстановки геофонів, що визначають якість сейсмічних даних у геологічних умовах Щербаківської площі.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в можливості впровадження обґрунтованих оптимальних параметрів свіп-сигналу, потужності джерел та методики прийому під час виробничої 3D сейморозвідки. Це забезпечує зменшення впливу шумів, покращення співвідношення «сигнал/шум», точніший розрахунок статичних поправок, підвищення вертикальної та просторової роздільної здатності, що загалом сприяє побудові достовірних структурно-геологічних моделей і зниженню ризиків при розвідці покладів.

**Структура роботи** складається з вступу, чотирьох основних розділів, у яких послідовно розглянуто теоретичні засади оптимізації параметрів вібророзвідного збудження, геологічну характеристику площі, зміст дослідно-методичних робіт та результати експериментального підбору оптимальних параметрів. Робота завершується розгорнутими висновками та переліком використаних джерел.

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОГО ЗБУДЖЕННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЙ ПРИЙМАЛЬНИХ СИСТЕМ У НАЗЕМНІЙ СЕЙСМІЧНІЙ РОЗВІДЦІ

Сучасна наземна сейсмічна розвідка переживає фундаментальні зміни, спричинені переходом до широкосмугових технологій, високощільного збору даних та інтеграцією машинного навчання і чисельного моделювання для прогнозування оптимального експериментального дизайну.

## 1.1 Оптимізація вібраційного збудження: нелінійна динаміка та дизайн розгортки

Сучасні методичні дослідження підтверджують, що використання низькочастотної віброесейсмічної розвідки широко застосовується у світовій практиці [1]. Головною метою стало розширення корисного частотного діапазону вниз для отримання більш детальної та глибокої інформації.

Значні вдосконалення на низьких частотах стали можливими завдяки розробці вібраторів нового покоління. Ці пристрої можуть видавати в середньому на 4 дБ більше сили у критичному діапазоні від 1.5 Гц до 5 Гц порівняно зі стандартними комерційними вібраторами з силою в 356 кН ( $\approx 36$  тс). Це підвищення сили у низькочастотному діапазоні є ключовим методичним кроком, який безпосередньо покращує якість зібраних даних та підвищує загальну продуктивність збору [2].

Оптимізація параметрів збудження необхідна для зменшення спотворення сигналу, яке неминуче виникає через нелінійну взаємодію системи вібратор-грунт [1].

Сучасні методики дизайну розгортки включають:

- Low-Dwell Sweeps (розгортки з низьким часом утримання) – це

спеціалізовані розгортки, які стали стандартом, але їхнє використання вимагає ретельного налаштування фази наростання (ramp-up). Це необхідно для збереження цільової сили на низьких частотах, не збільшуючи при цьому надмірно загальну тривалість розгортки, що могло б негативно вплинути на продуктивність польових робіт [3];

- Inverse Q Sweep – методичні дослідження, представлені близько 2020 року, впровадили концепцію зворотної Q-розгортки. Вона використовує повністю контрольовані амплітудні та фазові спектри для попередньої компенсації енергетичного поглинання ґрунту (Q-компенсація) під час самого збудження [4].

Аналіз технологічних вимог вібросейсмічних контролерів показує, що з розвитком Low-Dwell Sweeps та збільшенням нелінійності системи на низьких частотах, класичний контроль зворотного зв'язку, заснований на нульовому перетині, стає застарілим. Це обумовлено тим, що він не може адекватно впоратися зі зростаючим нелінійним спотворенням. Відповідно, оптимальність параметрів збудження тепер вимагає переходу до високошвидкісного контролю ґрунтової сили (ground-force command), який забезпечує точне узгодження між пілотним та фактичним сигналами [3].

Крім того, критично важливим аспектом є чутливість до початкових умов. Навіть симуляції двох ідентичних розгорток можуть демонструвати різні результати, зокрема, перевищення або неперевищення фізичних обмежень вібратора, якщо вони відрізняються лише початковою фазою [3]. Це вказує на те, що оптимізація розгортки є складною, багатовимірною проблемою, яка вимагає обов'язкового, детального попереднього моделювання для врахування цих нелінійних залежностей, що виходять за межі простих лінійних моделей.

Нелінійність взаємодії між вібратором та ґрунтом визнана одним з основних джерел спотворення сигналу у наземній розвідці [5]. Методичні дослідження останніх років значно поглибили розуміння цього процесу, використовуючи чисельне моделювання.

Для кількісної оцінки та мінімізації спотворень у дослідницьких роботах застосовується нелінійне 3D моделювання методом кінцевих елементів. Це моделювання включає складні аспекти, які часто нехтувалися в минулому, такі як взаємодія плита-грунт, пластичність ґрунту та невідбиваючі граничні умови [6].

Ключові результати моделювання продемонстрували, що обертання вібратора призводить до асиметричного розподілу напружень на інтерфейсах. Також спостерігається нерівномірна деформація, яка включає пластичні зміни ґрунту (утворення заглиблень), причому розмір цих заглиблень зростає з часом навантаження[6]. Така пластична деформація може зрештою призвести до локальної або повної втрати контакту між опорною плитою вібратора та ґрунтом.

Енергетичний аналіз системи вібратор-ґрунт є критичним для визначення ефективності збудження. Дослідження показали, що енергетичні втрати, спричинені пластичністю ґрунту, становлять більшу частину зовнішньої роботи, що призводить до низького коефіцієнта ефективної передачі енергії [6]. Це явище створює парадокс в оптимізації частоти: хоча вібратор здатний генерувати більшу ґрунтову силу на низьких частотах, саме робота в цьому діапазоні найсуттєвіше збільшує пластичну деформацію ґрунту, що, своєю чергою, знижує загальну ефективність системи [6]. Таким чином, оптимальна частота збудження є компромісом, який максимізує корисну вихідну силу, утримуючи при цьому нелінійне спотворення (через пластичність) у прийнятних межах. Оптимальні параметри залежать не лише від цільової глибини дослідження, а й від механічних властивостей ґрунту на місці.

Експериментальні та модельні рекомендації для підвищення ефективності включають:

- уникнення низької жорсткості ґрунту: при роботі в ґрунтах з низькою жорсткістю, таких як пісок, спостерігається найменший вихід хвилі та найнижча точність вихідних хвиль;

- підвищення жорсткості, наприклад, шляхом попереднього стиснення або ущільнення, є ефективним способом підвищення виходу та ефективності вібратора;
- збільшення глибини залягання також сприяє покращенню виходу та ефективності S-хвильових вібраторів [6].

Через критичний вплив пластичності ґрунту на нелінійні втрати, сучасні методичні дослідження показують, що для досягнення оптимальних параметрів збудження необхідно інтегрувати геоінженерні дані, такі як швидкість поперечної хвилі та визначення фундаментального періоду ґрунту, на етапі планування [7]. Це перетворює аналіз характеристик ґрунту з простого фактора обробки на обов'язковий етап визначення оптимальних параметрів джерела.

## 1.2 Еволюція методик групування геофонів та цифрова революція приймальних систем

Оптимальна методика групування геофонів також зазнала радикальних змін за останні роки, повністю перейшовши від фізичного польового усереднення до високощільної цифрової дискретизації.

Історично, кабельні системи та великі фізичні групи геофонів (використовувалися з 1970-х років) обмежували щільність дискретизації. Станції часто розташовувалися на відстані до 50 м одна від одної. У цій моделі недоліки аналогових геофонів, які включали нестабільність та варіації в часі, "згладжувалися" при використанні у великих масивах [8]. Масив, по суті, виконував функцію польового шумозаглушення шляхом аналогового усереднення сигналу від десятків приймачів-сенсорів.

Сучасні методичні дослідження підтверджують визнані переваги високощільного, односенсорного збору даних. Висока щільність трас, забезпечена одиничними сенсорами, робить значний внесок в обробку, що

призводить до отримання чіткіших зображень та більш детальної характеристики пластів [8].

Ключовий методологічний зсув полягає в управлінні шумом. З переходом до одиничних сенсорів слабкий сигнал, який раніше був прихований у масиві, стає сирими вхідними даними для обробки. Недоліки геофонів, які раніше маскувалися масивами, тепер стають прямим артефактом вхідних даних [8]. Це перенесло відповідальність за шумозаглушення та забезпечення якості даних у цифрову сферу.

Третя, найновіша генерація MEMS-сенсорів (micro electro mechanical systems) подолала критичне обмеження попередніх моделей, пов'язане зі збільшенням рівня шуму на низьких частотах [8]. Оскільки MEMS-сенсори є внутрішньо цифровими, вони забезпечують надійний 24-бітний цифровий сигнал. Методичні дослідження показали, що цифрове "групування" шляхом кореляційного усереднення восьми недорогих MEMS акселерометрів може значно підвищити якість даних [9].

Це свідчить про те, що фізичне групування більше не є оптимальною стратегією для шумозаглушення. Його функція затухання лінійного шуму тепер ефективніше та гнучкіше виконується за допомогою високої просторової дискретизації одиничними сенсорами та подальших цифрових алгоритмів. Оптимальна методика групування сьогодні полягає у виборі найменшого інтервалу між одиничними сенсорами, що дозволяє застосовувати складні алгоритми цифрового формування масивів.

#### Висновки по розділу.

Аналіз джерел за останні роки виявляє дві основні, взаємопов'язані тенденції у визначенні оптимальних параметрів збору даних:

1. Складна оптимізація збудження. Оптимальний дизайн вібраційної розгортки тепер є високоточним, багатопараметричним процесом. Він вимагає

не лише високого виходу на низьких частотах, але й обов'язкового врахування нелінійних втрат енергії, спричинених пластичністю ґрунту. Визначення оптимальних параметрів повинно включати попереднє моделювання та геоінженерний аналіз для забезпечення найбільшого ефективного коефіцієнта передачі енергії.

2. Відмова від фізичного групування. Методика "групування" геофонів еволюціонувала в методику високощільної просторової дискретизації одиничними цифровими приймачами. Цей перехід переносить відповідальність за шумозаглушення з польового обладнання на цифрові алгоритми обробки (цифрове формування масивів). Одиничний приймач, незважаючи на слабкий сигнал, забезпечує значно якісніший вхідний сигнал для складних алгоритмів обробки.

## 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЩЕРБАКІВСЬКОЇ ПЛОЩІ

### 2.1 Орогідрографія та загальні відомості

Щербаківська площа в орографічному відношенні являє собою хвилясту, горбисту рівнину, порізану річковою та ярово-балковою мережею [10].

Найбільші абсолютні висоти рельєфу приурочені до вододільних ділянок і досягають 150–160 м, тоді як мінімальні відмітки пов'язані з долинами річок і знижуються до близько 80 м (рисунок 2.1).

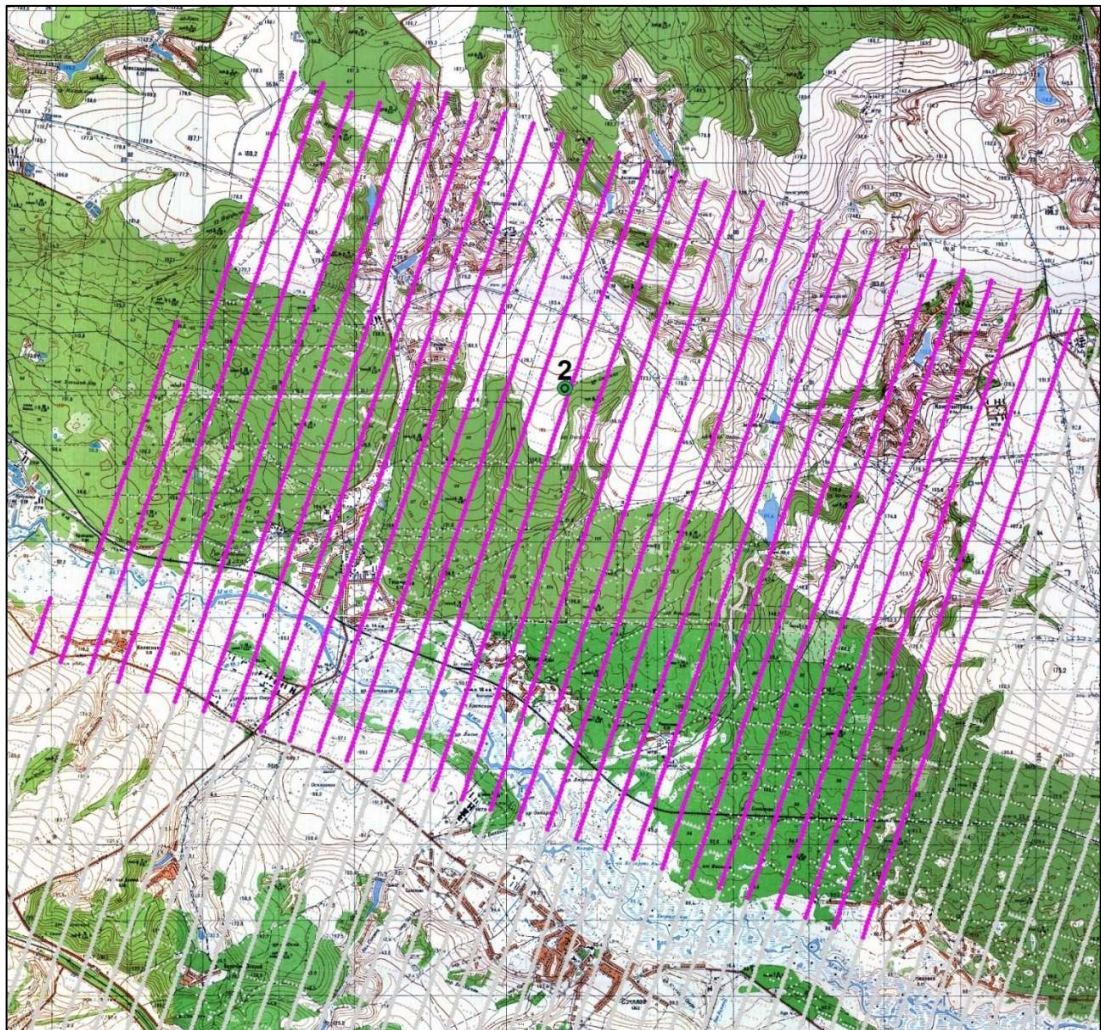


Рисунок 2.1 – Оглядова карта району робіт

Гідрографічна мережа представлена річкою Говтва та її лівою притокою – річкою Грузька Говтва. Як сама Говтва, так і її притоки є мілководними та не мають сталого водотоку, який у літній період часто пересихає. Річкові долини характеризуються асиметричною будовою: праві схили є крутішими, тоді як ліві – більш пологими; окремі ділянки долин заболочені.

Клімат території помірно континентальний, із тенденцією до посушливих умов в останні роки. У літній період температура може досягати +38 °С, тоді як узимку опускається до –15...–20 °С.

У господарському відношенні район має переважно сільськогосподарське призначення – близько 70 % території зайнято посівами культур. Промислові об'єкти представлені невеликими підприємствами місцевого значення. Через північну частину району проходить залізнична лінія Полтава–Київ, а його півднем – автомобільна магістраль Харків–Київ [10].

## 2.2 Геологічна характеристика об'єкту робіт

Геологічний розріз досліджуваної площі складений різновіковими осадовими та вулканогенно-осадовими утвореннями, що залягають на денудованій поверхні кристалічного фундаменту [11].

У межах площі робіт докембрійські породи розкриті значною кількістю свердловин. Вони представлені гнейсами, кварцитами, пісковиками, сланцями та рожево-сірими гранітами, які датуються не давніше пізнього протерозою. Максимальна розкрита потужність фундаменту становить 464 м (св. 3, Решетилівська площа). За даними геолого-геофізичних досліджень, глибини залягання кристалічного фундаменту в південній частині площі не перевищують 1000–1700 м, тоді як у північному напрямку вони зростають і досягають близько 7,5 км [11].

Найдавніші відклади девонської системи встановлено у свердловинах 1 та 233 на Білоцерківсько-Остапівській площі, де вони віднесені до живецького ярусу середнього девону. Потужність цієї товщі становить 14–26 м. Вона складена переважно грубозернистими різновидами теригенних порід, рідше – вапняками та доломітами, які незгідно залягають на еродованій поверхні фундаменту. Ймовірно, ці породи накопичувались у локальних знижених ділянках або збереглися від подальшого розмиву лише в пониженнях рельєфу кристалічного підґрунтя [11].

На відміну від локального поширення відкладів середнього девону, потужні товщі франського та фаменського ярусів верхнього девону простежуються в усіх структурно-фаціальних зонах. За відносно сталої потужності нижньо- та середньофранських (підсолевих) відкладів у межах площі відзначаються прояви ерозійних розмивів, пов'язані з ними незгоди та розвиток клиноформних тіл. Значні варіації потужності фаменської (надсолевої) товщі зумовлені процесами соляного тектогенезу, особливо в районі Сагайдацького підняття, де потужність соленосних відкладів досягає 3000 м [11].

Відклади франського ярусу залягають з незгодою на породах кристалічного фундаменту або на утвореннях середнього девону. Підсолеві відклади нижнього та середнього франського під'ярусів (кінівський, саргаївський, семилукський та алатирський горизонти) у межах досліджуваної території розкриті свердловинами на Остапівсько-Білоцерківській, Решетилівській, Підгорянській та інших площах. Їх потужність змінюється в межах 320–420 м. У нижній частині розрізу переважають вапняки, доломіти та пісковики (кінівський і саргаївський горизонти), тоді як верхня частина складена переважно туфогенними пісковиками, алевролітами та туфоконгломератами (семилукський і алатирський горизонти) [11].

Верхньофранські відклади представлені кам'яною сіллю з підлеглими прошарками вапняків, мергелів і ангідритів (воронезький та євлано-лівенський горизонти), потужність яких у межах Сагайдацької площі досягає 3000 м (св. 51). У напрямку бортової частини западини соленосний розріз змінюється на безсольовий, де переважають карбонатно-теригенні породи – алевроліти та аргіліти (св. 230, 233 Білоцерківської площі; св. 2, 3, 6 Решетилівської площі). Потужність цих утворень зменшується до 180 м [11].

Відклади фаменського ярусу залягають з кутвою та стратиграфічною незгодою на соленосних або безсольових утвореннях франського ярусу. У їх складі виділяються два основні літологічні комплекси: у нижній частині – теригенно-карбонатні морські фації (нижньофаменський під'ярус), у верхній – різнобарвна товща пісковиків (середньо- та верхньофаменський під'ярус). Нижньофаменські відклади, розкриті свердловинами на Підгорянській, Решетилівській, Шкурупіївській та Остапівсько-Білоцерківській площах, віднесені до нерозчленованої задонсько-слецької товщі. Поблизу борту западини вони представлені конгломератами, гравелітами та пісковиками з прошарками вапняків, а у напрямку до центру басейну – більш дрібнозернистими утвореннями (алевроліти, аргіліти; св. 1 Решетилівської площі). До складу середньо- та верхньофаменських відкладів входять лебедянсько-микільські, тургенівсько-кудеярівські та озерсько-хованські шари. Нижня частина цієї товщі представлена червоноколірними піщано-конгломератовими породами, тоді як верхня – теригенно-карбонатними утвореннями. Потужність змінюється в межах 200–800 м. У її межах простежуються декілька ерозійних поверхонь, зокрема на Підгорянській і Зачепилівській площах. У межах району робіт озерсько-хованські відклади з вираженою кутвою та стратиграфічною незгодою перекривають різновікові товщі франського та фаменського ярусів аж до воронезьких утворень (св. 21 Остапівсько-Білоцерківської площі, св. 4 і 6

Решетилівської площі). Максимальна встановлена потужність сягає 600 м (св. 1 Решетилівської площі) [11].

Відклади карбону у складі нижнього, середнього та верхнього відділів розкриті всіма пробуреними свердловинами. Вони залягають трансгресивно на різних поверхнях девонських відкладів, а подекуди – безпосередньо на кристалічному фундаменті. Відклади турнейського ярусу характеризуються значною фаціальною мінливістю та неповсюдним поширенням. Нижня частина розрізу представлена переважно карбонатними породами з прошарками пісковиків та алевролітів, верхня – пісковиками з підлеглими прошарками вапняків. Потужність цих утворень змінюється від 0 до 540 м. Відклади візейського ярусу залягають з кутовою та стратиграфічною незгодою на турнейських породах. У північній частині площі нижньовізейські утворення представлені вапняками з малопотужними прошарками пісковиків, із загальною потужністю 40–80 м, тоді як південніше Решетилівської площі вони відсутні. Верхньовізейські породи трансгресивно перекривають більш давні утворення, аж до кристалічного фундаменту. Їх потужність у північно-східному напрямку різко зростає; літологічно вони складені аргілітами й алевролітами з поодинокими прошарками пісковиків і вапняків (рисунок 2.2). Відклади серпухівського ярусу поширені майже повсюдно та характеризуються наявністю органогенних вапняків і численних прошарків кам'яного вугілля. Потужність цієї товщі становить 150–500 м. На їх розмитій поверхні залягають відклади середнього карбону – башкирського та московського ярусів. Башкирські утворення представлені вапняками, аргілітами та алевролітами, їх потужність сягає 200–350 м. Відклади московського ярусу на півдні зазнали денудації, тоді як на північному сході їх потужність збільшується до 450 м; вони складені пісковиками та алевролітами з поодинокими прошарками вапняків [11].

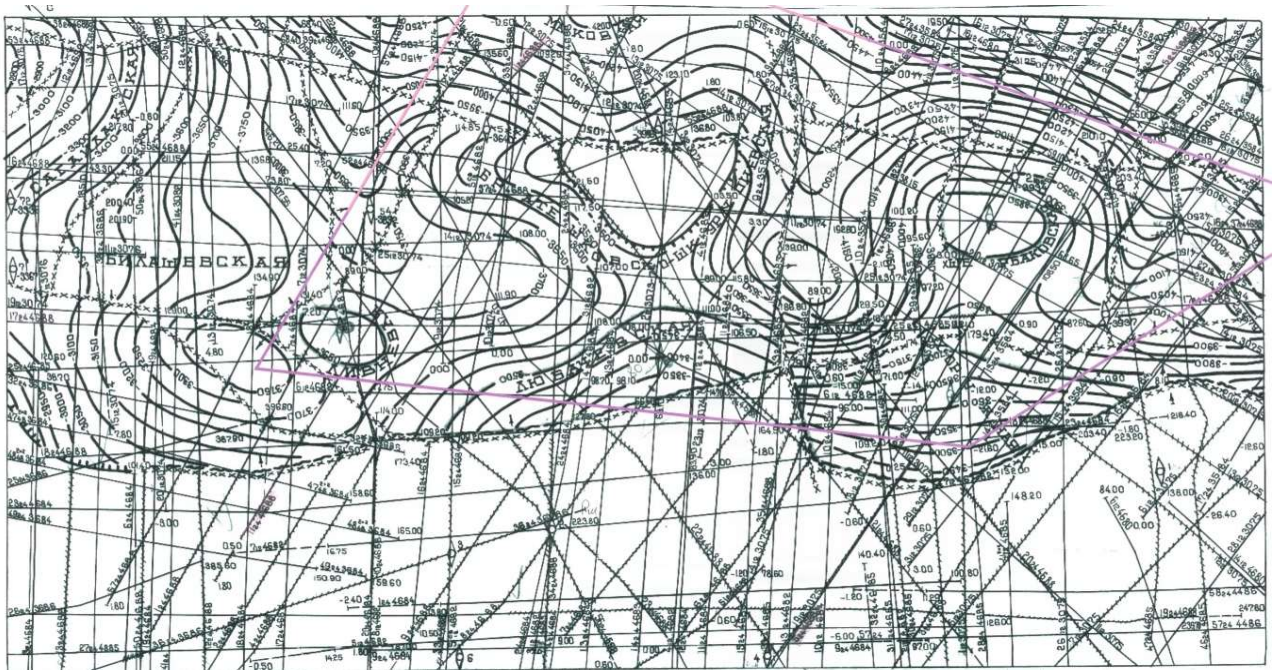


Рисунок 2.2 – Структурна карта по горизонту відбиття  $V_{4-n} C_{1t}$

Верхньокарбоніві відклади за літологічним складом подібні до московського ярусу: на півдні вони розмиті, а на північному сході досягають потужності понад 400 м. У межах досліджуваної ділянки відклади пермської системи відсутні й простежуються лише північніше Сагайдацької та Шкурупіївської структур [11].

Мезокайнозойські утворення мають повсюдне поширення та представлені переважно теригенними породами – глинами, пісковиками з прошарками вапняків, мергелів і пластами писальної крейди. Їх загальна потужність не перевищує 1700–1900 м.

Четвертинні відклади представлені глинисто-піщаними породами – суглинками, супісками та підстилаючою пачкою глин. На вододілах вони мають переважно суглинистий склад, тоді як у заплавах річок переважають піщані різновиди. Потужність четвертинних відкладів коливається від кількох метрів у долинах і ярах до 30 м на вододільних ділянках [11].

### 2.3 Сейсмогеологічні умови

Стосовно поверхневих умов, Щербаківська площа є горбистою рівниною із розвинутою сіткою ярів і балок. Яри та балки покриті лісовими масивами. В умовах розчленування рельєфу і пойми річок, критично важливим є отримання на польових сейсмограмах якісних перших вступів заломлених хвиль з метою вивчення швидкостей поширення поздовжніх хвиль у верхній частині розрізу (ВЧР), щоб, у подальшому, правильно розрахувати статичні поправки. У верхній частині корінних четвертинних порід, які безпосередньо підстиляють ВЧР, за попередньою інформацією, середня швидкість складає 1500–1700 м/с [12]. Швидкісна характеристика по стратиграфічним рівням наведена в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Швидкісна характеристика стратиграфічних інтервалів осадових відкладів

Вік		Середня швидкість, м/с	Інтервальна швидкість, м/с
Неоген та Палеоген - Q+N+P		1 500–1 700	1 600–2 000
Крейда - К		1 700–2 200	1 700–2 500
Юра - J		2 200–2 300	2 200–2 250
Триас - Т		2 300–2 450	2 500–2800
Верхньокам'яновугільні - C <sub>3</sub>		2 450–2 550	2 800–3 050
Середньокам'яновугільні	C <sub>2m</sub>	2 550–2 700	3 050–3 350
	C <sub>2b</sub>	2 700–2 850	3 350–3650
Нижньокам'яновугільні	C <sub>1s</sub>	2 850–3 000	3 650–3750
	C <sub>1v</sub>	3 000–3 050	3 750–4 400
	C <sub>1t</sub>	3 050–3 150	4 400–4 900
	D <sub>3fm</sub>	3 150–3 400	4 400–4 700
	D <sub>3fr</sub>	3 400–3 450	4 700–4 900
	D <sub>3fr</sub>	4700	4900

Аналіз швидкісних характеристик, визначених за даними вертикального сейсмічного профілювання (ВСП) свердловин (рисунок 2.3), показує практично

рівномірне, з поступовим зростанням з глибиною, розповсюдження середніх та інтервальних швидкостей по всій ділянці досліджень, окрім окремих відхилень.

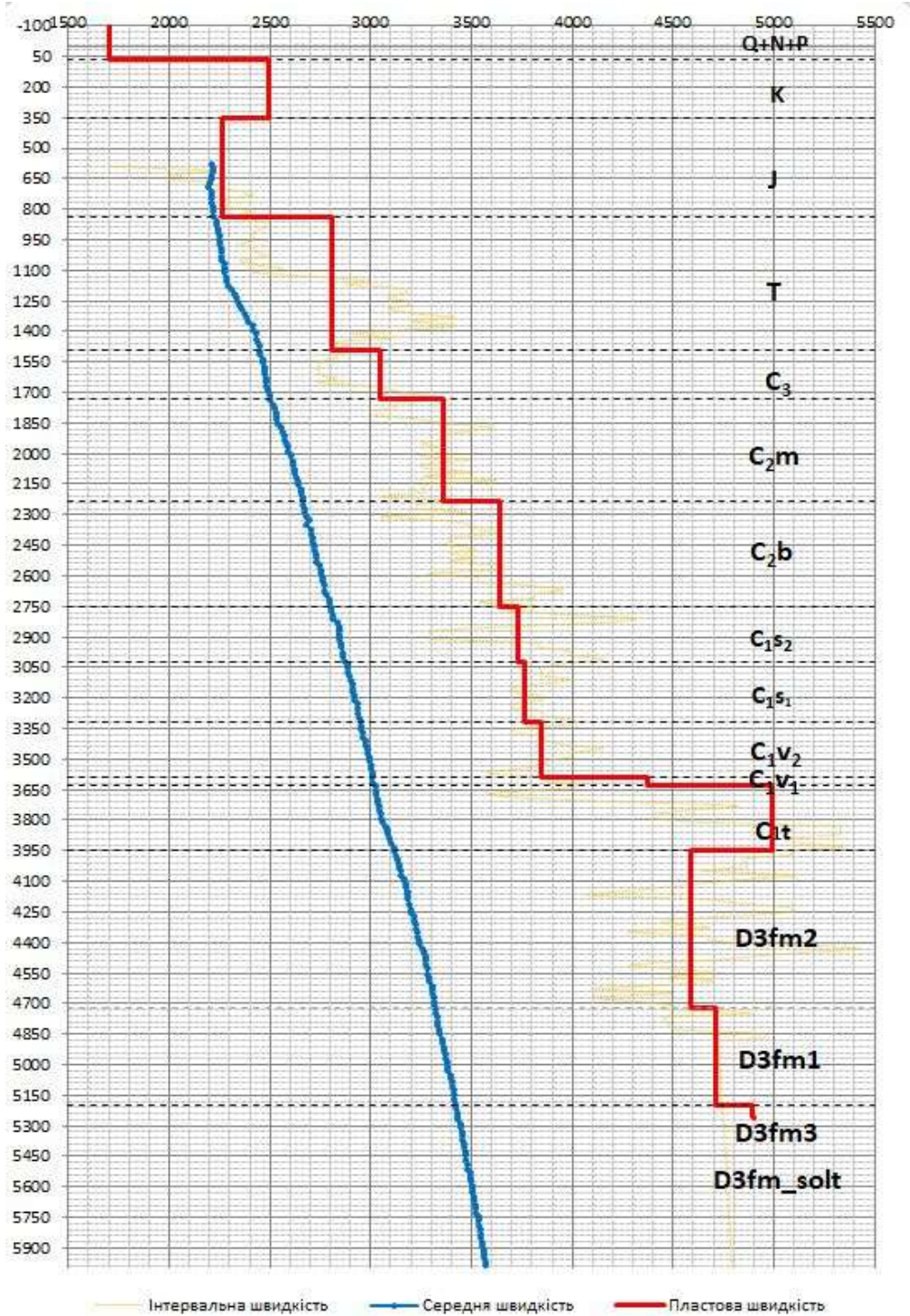


Рисунок 1.4 – Графіки середніх, інтервальних та пластових швидкостей

Висновки по розділу.

Щербаківська площа характеризується складними орографічними умовами (розчленований рельєф, розвинута ярово-балкова мережа, заболочені ділянки), що ускладнює отримання якісних сейсмічних даних. Геологічна будова відрізняється значною різновіковістю та мінливістю потужностей і літології порід, наявністю незгод, ерозійних поверхонь і соляного тектогенезу, що зумовлює ускладнену хвильову картину.

З метою підвищення якості сейсмічної інформації та точності розрахунку статичних поправок доцільно провести дослідно-методичні роботи для оптимізації параметрів збудження і прийому коливань з урахуванням місцевих геолого-геоморфологічних умов.

### 3 ДОСЛІДНО-МЕТОДИЧНІ РОБОТИ В СЕЙСМОРОЗВІДЦІ

#### 3.1 Поняття та призначення дослідно-методичних робіт

Дослідно-методичні роботи (ДМР) є важливим та невід'ємним етапом підготовки до виконання польових сейсморозвідувальних досліджень. Вони полягають у спеціально організованих експериментальних спостереженнях, що спрямовані на визначення найбільш раціональних параметрів збудження і прийому пружних хвиль у конкретних природно-геологічних умовах території дослідження. Необхідність їх проведення обумовлюється значною просторовою неоднорідністю геологічного середовища, складною будовою верхньої частини розрізу, різноманітністю літологічного складу відкладів і специфікою рельєфу місцевості.

Основною метою дослідно-методичних робіт є обґрунтування оптимальної методики проведення сейсмічних спостережень, яка забезпечить максимальну інформативність та достовірність отриманих матеріалів. Зокрема, у ході ДМР вирішуються такі завдання:

- встановлення найбільш ефективного типу джерела пружних коливань;
- визначення раціонального рівня енергії збудження;
- оцінка впливу глибини розміщення джерела на якість реєстрації хвиль;
- підбір оптимального кроку розташування пунктів прийому;
- вибір типу та робочого частотного діапазону приймальних датчиків;
- аналіз параметрів системи спостережень з точки зору отримання відбитих хвиль із найбільшою амплітудою та стабільністю.

Розв'язання цих завдань дозволяє оптимізувати весь процес польових сейсмічних досліджень та підвищити достовірність геологічних висновків.

### 3.2 Основні задачі дослідно-методичних робіт в сейсморозвідці

Період останніх років характеризується в українській сейсмічній розвідці значним збільшенням як кількісних показників польових робіт, так і радикальною зміною якісних вимог до збору даних. Цей технологічний зсув є прямим наслідком стратегічного пріоритету національних нафтогазових компаній щодо розширення ресурсної бази та підвищення точності геологічного моделювання. Виконання дослідно-методичних робіт у ці роки було інтегровано в ширшу програму модернізації, зосереджену на переході до високощільної сейсморозвідки.

Сукупність обсягів сейсморозвідувальних робіт створила високий попит на стандартизацію та оптимізацію польових методик. Масштабні проекти вимагають не просто повторення існуючих технологій, а впровадження ДМР для адаптації глобальних стандартів до специфічних геологічних і топографічних умов України.

Паралельно з розширенням польових обсягів, відбулася критична інфраструктурна модернізація. У рамках оновлення науково-дослідного інституту УкрНДІгаз було відкрито надсучасний центр компетенцій 3D моделювання та візуалізації родовищ. Цей унікальний для нафтогазової галузі України центр вже створив 25 тривимірних моделей родовищ. Ця інвестиція у високотехнологічні центри обробки даних має прямі та вагомі наслідки для проведення ДМР. Здатність цих центрів обробляти та візуалізувати дані вищої якості (зокрема, використовувати передові методи, як-от інверсія повного хвильового поля), створює прямий попит на отримання високоякісних, широкосмугових і високощільних вхідних даних [13].

Таким чином, інфраструктурні можливості обробки диктують вимоги до польових ДМР. Дослідно-методичні роботи перестають бути самостійними польовими тестами; вони стають інтегрованою частиною циклу "збір даних -

обробка - моделювання". Цей взаємозв'язок вимагає, щоб ДМР були спрямовані на радикальне покращення польових параметрів збудження та приймання для забезпечення даних, які можуть бути ефективно використані в складних інверсійних моделях.

Проведення ДМР було також зумовлене потребою адаптувати технології до конкретних геологічних та топографічних викликів регіонів розвідки. Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) має складну геологію, що включає глибокі структури, кристалічний фундамент та палеорифти. Для успішного виявлення слабких відбитих сигналів на великих глибинах ДДЗ, ДМР фокусуються на максимізації співвідношення сигнал/завада. Це вимагає тестування ефективності довготривалих, високоенергетичних свіпів і використання високощільної розстановки для максимального фокусування хвильового поля та приглушення багатократних відбиттів [14]. Гірські умови заходу України вимагають розробки ДМР, які не лише впроваджують бездротову логістику, але й вирішують методологічні проблеми, пов'язані з різкими змінами швидкостей та складною топографією. Ці ДМР націлені на адаптацію геометрії для ефективної компенсації топографічних ефектів та приглушення поверхневих хвиль, які сильно ускладнюють аналіз у таких умовах [15].

Загальний вектор дослідно-методичних робіт має на меті визначення оптимальної частоти та амплітуди вимушених коливань для максимізації передачі сейсмічної енергії в цільовому діапазоні і мінімізації нелінійних гармонічних спотворень, що виникають поблизу вібратора.

Ключовий фокус ДМР – це розробка широкосмугових свіпів, які є критично важливими для сучасної геологорозвідки. Ці свіпи повинні вирішувати дві взаємовиключні задачі:

1. Забезпечення проникнення – збереження високої енергії на низьких частотах (зазвичай 4–10 Гц), що необхідно для отримання якісних зображень

глибоких структур, зокрема, у Дніпровсько-Донецькій западині, де актуальні дослідження консолидованої кори та підсольових відкладень [14]. Низькі частоти також критично необхідні для успішного виконання інверсії повного хвильового поля.

2. Підвищення роздільної здатності – досягнення максимально можливих високих частот (понад 80 Гц) для виявлення тонких пластів і деталізації покладу.

Для досягнення широкосмугового спектра з мінімальними спотвореннями, ДМР усе частіше використовують динамічні, або різночастотні підходи, де послідовна дія коливань з різними частотами забезпечує комплексний результат. У сейсмічній розвідці це означає динамічну модуляцію параметрів протягом свіпа: висока енергія (висока амплітуда) на низьких частотах для забезпечення глибокого проникнення; зменшення амплітуди при переході до високих частот.

Така модуляція є стратегічно важливою. Нелінійні спотворення, що виникають при взаємодії вібратора з ґрунтом, найсильніше проявляються на високих частотах при максимальній вібраційній силі. Зменшуючи амплітуду вібратора під час високочастотної фази свіпа, оператор мінімізує ці спотворення, зберігаючи при цьому необхідну високочастотну енергію. Таким чином, ДМР включають емпіричне тестування різних профілів амплітудно-частотної модуляції, що забезпечує оптимізацію співвідношення сигнал/завада на кінцевому записі.

Оптимізація параметрів вібраційного збудження на місці залежить від ефективності передачі енергії, яка є функцією нелінійної взаємодії плити вібратора з конкретним типом ґрунту. Ця взаємодія є суттєво нелінійною. Стратегічна необхідність полягає в тому, щоб використати наявну внутрішню експертизу в чисельному моделюванні для розробки спеціалізованих моделей для типових ґрунтів ключових родовищ. Це дозволить замінити дорогі та

часозатратні польові тести більш точним інженерним прогнозуванням оптимальних параметрів, особливо динамічного контролю амплітуди.

Одним із найбільш значущих аспектів ДМР в останні роки є якісна зміна у приймальних системах, а саме — рішуча відмова від традиційного фізичного групування геофонів на користь технологій односенсорних та багатосенсорних систем. Цей перехід є наріжним каменем методології HD-сейсміки.

Традиційне групування геофонів, де 10-20 сенсорів підключалися до однієї траси, слугувало інструментом фізичного шумозаглушення шляхом просторового усереднення. Однак цей підхід водночас обмежував просторову дискретизацію і фільтрував цінні високочастотні сигнали.

Сучасні ДМР переорієнтовані на односенсорні системи, де кожен геофон є окремим приймачем. Доказом цієї зміни є стратегічні контракти, наприклад, придбання "Нафтогазом" у 2021 році високоякісних багатосенсорних сейсмічних даних у внутрішньому шельфі Чорного моря [13].

Перехід на односенсорні системи призводить до фундаментального зсуву у фокусі ДМР:

- зміна завдання – замість оптимізації довжини групи та її конфігурації, ДМР тепер зосереджуються на оптимізації геометрії збору даних: мінімального інтервалу між приймачами та максимального покриття;
- шумоподавлення – функція шумоподавлення переноситься з етапу збору на етап обробки. Таким чином, ДМР спрямовані на забезпечення такої щільності просторової дискретизації, яка дозволяє ефективно відокремлювати цільові сигнали від поверхневих та некорельованих шумів за допомогою складних алгоритмів.

Ключовим елементом, що дозволив впровадити односенсорні системи у складних умовах, стало використання бездротових технологій. «Укрнафта» стала першою компанією в Україні, яка успішно застосувала бездротову технологію 3D-сейсмозв'язки, зокрема, у складних гірських умовах [15].

Ця технологічна перевага має прямі методологічні наслідки. Бездротові системи уможливають розгортання приймачів із високою щільністю в умовах, де кабельну розстановку провести неможливо (наприклад, у Карпатах). Це не лише скорочує тривалість польових робіт і мінімізує екологічний вплив, але й забезпечує вищу точність геофізичних даних.

У сфері ДМР, що стосуються приймальних систем, це вимагає розробки методик:

- оптимізації щільності сенсорів – визначення мінімально необхідної щільності трас, яка забезпечує ефективне цифрове шумоподавлення для конкретного регіону;

- розробка швидких і надійних методик контролю якості та тестування великої кількості незалежних сенсорів (на відміну від перевірки кабельних ліній).

- адаптація геометрії збору для забезпечення рівномірного розподілу азимутів та відстаней (offset) і компенсації топографічних ефектів, що є критичним для якості односенсорних систем даних.

Успіх односенсорних систем прямо залежить від цих ДМР, оскільки висока щільність збору дозволяє повною мірою скористатися перевагами широкопasmового збудження, забезпечуючи максимальну роздільну здатність для подальшого 3D моделювання.

### 3.3 Методи проведення та етапи виконання дослідно-методичних робіт

Дослідно-методичні роботи в сейсморозвідці можуть включати різні типи польових та камеральних досліджень, серед яких:

- дослідження верхньої частини розрізу (ВЧР) – визначення фізичних властивостей приповерхневих відкладів (швидкість, щільність, неоднорідність), що істотно впливають на результат сейсмічних вимірювань;

- тестові сейсмічні профілі – виконання коротких пробних ліній спостережень для оцінки поширення хвиль та вибору оптимальної геометрії розміщення джерел і приймачів;
- калібрування приймальної апаратури – перевірка чутливості та точності геофонів і реєструвальних систем;
- аналіз амплітудно-частотних характеристик – з метою підбору робочого діапазону частот;
- оцінка рівня шумів — дослідження впливу природних та техногенних факторів (вітер, транспорт, техніка, тощо);
- моделювання хвильового поля – чисельні експерименти для прогнозування поведінки хвиль у складних геологічних умовах.

Комплексне застосування цих методів дозволяє отримати оптимальну комбінацію параметрів для подальших сейсмічних зйомок.

Дослідно-методичні роботи, як правило, здійснюються у кілька послідовних етапів:

1. Підготовчий етап включає аналіз попередніх геологічних і геофізичних матеріалів; вивчення фізико-географічних умов; формування програми досліджень і вибір методів та обладнання.
2. Польовий етап передбачає виконання дослідних профілів; реєстрацію сейсмічних сигналів; спостереження за стабільністю та якістю записів, а також фіксацію аномальних проявів.
3. Камеральний етап містить первинну обробку матеріалів; аналіз швидкісних характеристик; оцінку інформативності даних і підготовку технологічних рекомендацій.

ДМР, як правило, виконуються в межах спеціально обраної експериментальної ділянки, яка за своїми геологічними та геоморфологічними характеристиками є репрезентативною для всієї площі дослідження. На цій

ділянці закладається тестовий профіль, уздовж якого створюється система пунктів прийому та збудження з можливістю їх варіювання.

Під час проведення дослідних спостережень здійснюється серія впливів із послідовною зміною параметрів. Це дозволяє оцінити, як змінюється якість сейсмічного запису залежно від конкретної комбінації умов. Фіксуються часові параметри приходу основних типів хвиль, їх амплітудні та спектральні характеристики, тривалість сигналів, ступінь перекриття з шумовими складовими.

Особлива увага при цьому приділяється аналізу перших вступів прямих і заломлених хвиль. Саме на їх основі уточнюються швидкісні характеристики верхньої частини розрізу, яка в подальшому істотно впливає на точність уведення статичних поправок.

На етапі камеральної обробки результатів дослідно-методичних робіт здійснюється спектральний аналіз отриманих записів, побудова годографів перших вступів, оцінка загального рівня завад та частотного складу сигналу. Порівняльний аналіз різних варіантів параметрів дозволяє визначити найбільш прийнятні умови, за яких досягається оптимальне співвідношення між глибиною дослідження, роздільною здатністю та якістю реєстрації відбитих хвиль.

На основі результатів ДМР формуються рекомендації щодо проведення основних польових робіт. До них належать оптимальні значення кроку між приймальними пунктами, раціональна схема розташування системи спостереження, обґрунтовані параметри збудження коливань та доцільний робочий частотний діапазон. Усі ці рекомендації є базою для складання технічного проєкту польових сейсморозвідувальних робіт.

Роль дослідно-методичних робіт у сучасній сейсморозвідці є визначальною, оскільки саме вони забезпечують: підвищення точності визначення часових і глибинних характеристик відбивних горизонтів; зменшення похибок при розрахунку статичних поправок; покращення

співвідношення сигнал/шум; підвищення просторової та вертикальної роздільної здатності; оптимізацію витрат часу та ресурсів під час основних робіт; підвищення достовірності геологічної інтерпретації.

Завдяки правильно організованим дослідно-методичним роботам вдається уникнути типових помилок при збиранні сейсмічних даних, адаптувати методику до конкретних природних умов і досягти максимально можливої якості матеріалів.

#### Висновки по розділу.

Таким чином, дослідно-методичні роботи є невід'ємною частиною загального комплексу сейморозвідувальних досліджень і мають вагомое науково-практичне значення. Вони виконують функцію «містка» між етапом попереднього вивчення об'єкта і стадією повномасштабних сейморозвідувальних досліджень і дозволяють адаптувати методику робіт до конкретних сейсмогеологічних умов, знизити вплив несприятливих факторів середовища на якість сейсмічної інформації та, зрештою, значно підвищити точність побудови структурно-геологічних моделей.

Проведення дослідно-методичних робіт є необхідним етапом, оскільки їх результати безпосередньо забезпечують оптимізацію параметрів як збудження, так і прийому пружних коливань, що, у свою чергу, гарантує підвищення ефективності подальших сейморозвідувальних досліджень.

#### 4 ВИКОНАННЯ ДОСЛІДНО-МЕТОДИЧНИХ РОБІТ ТА ПІДБІР ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗБУДЖЕННЯ ТА ПРИЙМАННЯ СЕЙСМІЧНОГО СИГНАЛУ

В умовах Щербаківської площі особливу роль відіграє розчленований рельєф, наявність ярів, балок, заболочених ділянок, а також мінливість гранулометричного складу четвертинних відкладів. Ці фактори істотно впливають на умови поширення сейсмічних хвиль, спричиняють локальні деформації хвильового фронту, зміну характеру затухання, виникнення кратних і поверхневих хвиль. У результаті цього без попереднього проведення ДМР отримані сейсмограми можуть мати знижене співвідношення «сигнал/шум», що ускладнює їх інтерпретацію.

Дослідно-методичні роботи дозволяють адаптувати методіку запланованих робіт до конкретних сейсмогеологічних умов Щербаківської площі [12], знизити вплив несприятливих факторів середовища на якість сейсмічної інформації та, зрештою, значно підвищити точність побудови структурно-геологічних моделей.

##### 4.1 Вибір місця для розташування дослідних пікетів збудження

У процесі рекогносцировки були вибрані оптимальні місця для розташування пікетів збудження, на яких буде здійснено вибір параметрів (рисунок 4.1). Вибір дослідних пікетів проводився з урахуванням типових умов ґрунту на площі (рисунок 4.2) та по можливості з різними висотними відмітками.

Дослідно-методичні роботи по вибору параметрів збудження для вібраційних джерел, виконувалися на двох пунктах площі досліджень з використанням робочої розстановки. Перший пункт досліджень знаходиться на ЛЗ 360 ПК 2110 з висотною відміткою 168,7 м, а другий пункт – на ЛЗ 310 ПК

2105 з висотною відміткою 113,8 м. Стан ґрунту та розташування даних пунктів на місцевості, де відпрацьовувались фізичні спостереження другого етапу ДМД з використанням вібраційних джерел збудження, представлені на рисунках 4.3 та 4.4.

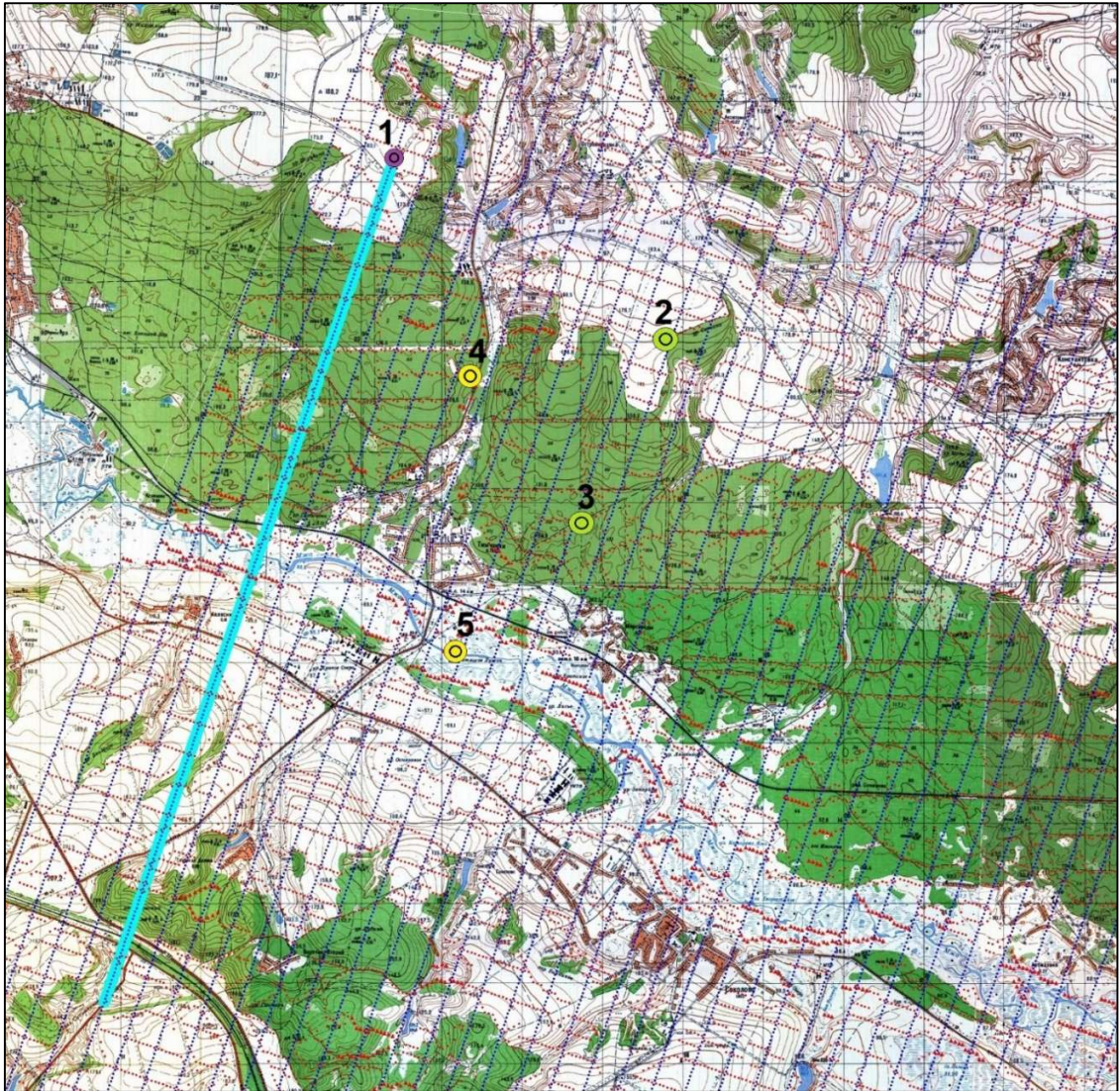


Рисунок 4.1 - Схема положення пунктів дослідно-методичних робіт

*Зеленим кольором відмічене положення на топокарті вібраційних ПЗ (№ точки 1, 2, 3), рожевим відмічене положення роботи по вибору параметрів методики групування геофонів та блакитна лінія ПП – положення розмотки геофонів по вибору параметрів методики групування геофонів*



Рисунок 4.2 – Стан ґрунту місцевості, де проводився перший етап ДМР



Рисунок 4.3 – Стан ґрунту та розташування на місцевості пікету 310/2105



Рисунок 4.4 – Стан ґрунту та розташування на місцевості пікету 360/2110

#### 4.2 Дослідження параметрів реєстрації сейсмічних даних

На першому етапі дослідно-методичних робіт було виконано тест на вивчення шумових завад в залежності від методики групування геофонів при збудженні пружної хвилі вібраційними установками. Група джерел збудження, яка складається з 4 вібраторів будуть розташовані на відстані 12 м один від одного (36 м довжина групи) та розташовані перпендикулярно до ліній прийому де проводилось збудження пружних коливань. Збудження генерувалось чотирма вібраційними джерелами збудження, починаючи з ПК 382 в бік зменшення нумерації сейсмічної лінії 2032 до ПК 381 з кроком 2 м без зміни параметрів вібраційного збудження. Всього було зареєстровано 25 фізичних спостережень. При реєстрації були задіяні всі активні 224 канали (ПП 159 по ПП 382) з різною методикою розмотки геофонів, пікети збудження знаходяться на краю лінії приймання, за фланговою системою спостереження. На відстані 1 м з одного боку від сейсмічної лінії були розмотані групуванням 12 геофонів в лінію на базі 50 метрів, а з другого боку, на відстані 1 м, групуванням 12 геофонів в точку (в межах кола радіусом не більше 1 метра).

Для проведення дослідно-методичних робіт на вивчення шумових завад в залежності від методики групування геофонів використовувалися наступні параметри збудження та реєстрації:

1. Групування 12 геофонів в лінію на базі 50 метрів – Line 2033;
2. Групування 12 геофонів в точку (в межах кола радіусом 1 метр) – Line 2032;
3. Тип джерела – вібраційний I/O ANV-IV 362 PLS;
4. Реєстраційний комплекс – сейсмостанція Sercel 428 XL;
5. Кількість джерел у групі – 4;
6. Кількість накопичень – 2;
7. Тривалість свіп-сигналу, с – 14;

8. Початкова конусність, с – 0,5;
9. Кінцева конусність, с – 0,5;
10. Частота збуджуваного свіп-сигналу, Гц – 6-96;
11. Рівень зусилля вібраційного джерела від максимального % – 75;
12. Тип свіп-сигналу – прямий лінійний;
13. Формат запису – SEG-D;
14. Підсилення запису – 0(g1);
15. Частота дискретизації – 2 мс.;
16. Тривалість запису – 7 с.;
17. ФВЧ – 0.8 Найквіста, нуль-фазовий;
18. Полярність реєстрації – SEG (вниз).

Після відпрацювання 25-ти фізичних спостережень отримані сейсмічні матеріали було передано до польового обчислювального центру, де було здійснено перевірку рапортів сейсмостанції, SPS-файлів, присвоєння геометрії та сортування отриманих даних по CHAN/OFFSET, RECLINE/SHOT та RECLINE/OFFSET для кожної лінії окремо за допомогою програмного забезпечення Echos Paradigm.

Після візуального порівняння сейсмограм (рисунок 4.5), розглядались, аналізувались та порівнювались графічні зображення амплітудно-частотних характеристики, а також фазо-кореляційний спектр (FK-Spectrum) для вікон з урахуванням шумових завад (рисунок 4.6) та без їхнього урахування (рисунок 4.7).

За результатами проведених дослідно-методичних робіт на вивчення шумових завад в залежності від методики групування геофонів було прийнято рішення для подальшого відпрацювання на досліджувальній площі за технологією 3D з методом групування 12 геофонів в точку (в межах кола радіусом 1 метр).

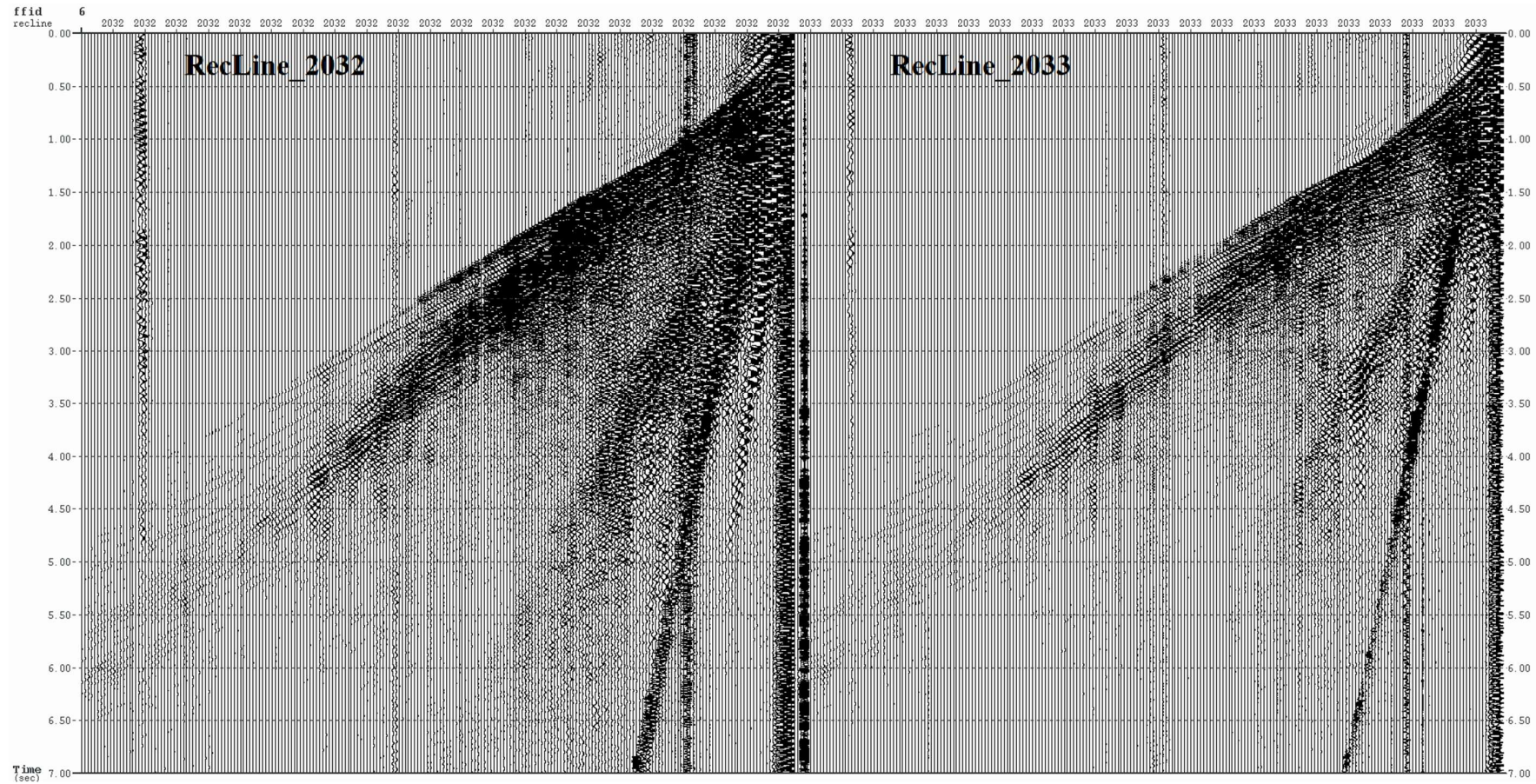


Рисунок 4.5 – Приклад сейсмограми для порівняння, де RecLine\_2032 – лінія приймання, на якій групування геофонів здійснено в точку (в межах кола радіусом 1 метр), а RecLine\_2033 – лінія приймання, на якій групування геофонів здійснено в лінію на базі 50 метрів

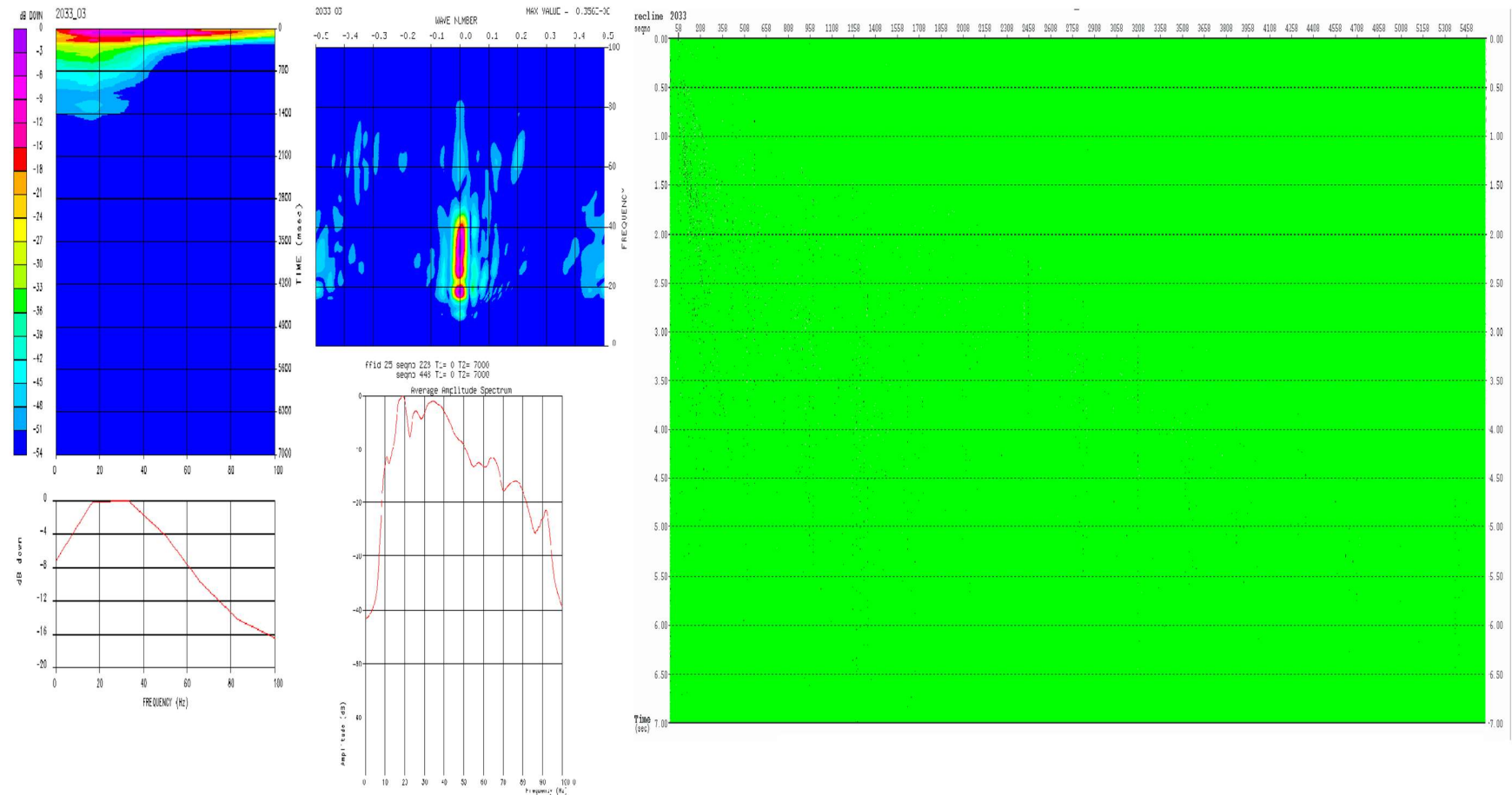


Рисунок 4.6 – Приклад сейсмограми з графічним зображенням амплітудно-частотних характеристик та FK-Spectrum у вікні, в якому враховуються значення шумових завад (враховується вся частина сейсмограми після перших вступів) на лінії 2033

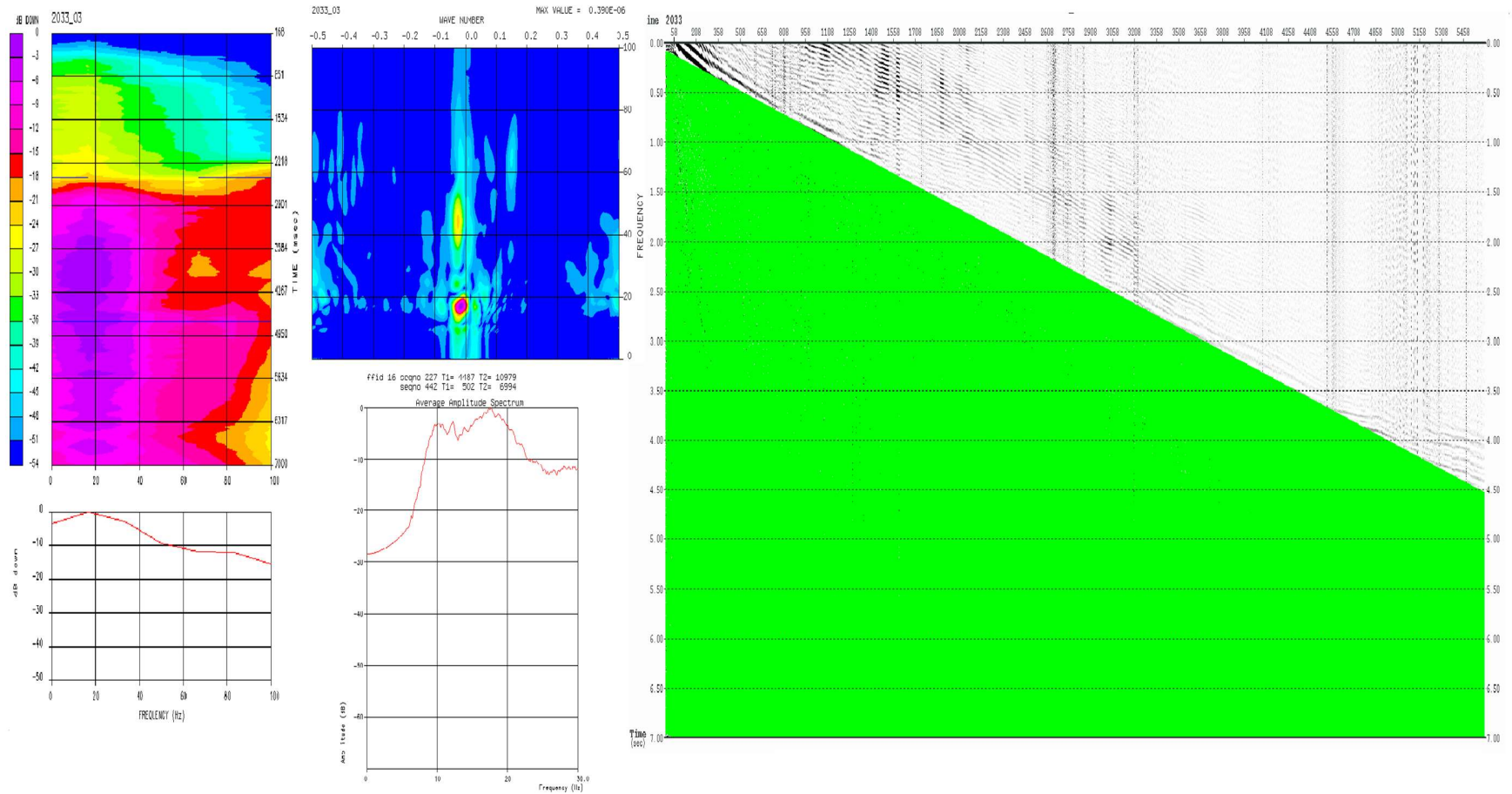


Рисунок 4.7 – Приклад сейсмограми з графічним зображенням амплітудно-частотних характеристик та FK-Spectrum у вікні, в якому враховуються значення корисного сигналу (враховується частина сейсмограми до перших вступів) на лінії 2033

Після завершення першої частини ДМР, пов'язаної з вибором методу групування геофонів, для відпрацювання фізичних спостережень наступних етапів дослідно-методичних досліджень та відпрацювання виробничих фізичних спостережень, вся подальша розмотка обладнання проводилась згідно прийнятого параметру групування.

4.3 Виконання дослідно-методичних робіт з використанням сейсмічних вібраторів і підбір оптимальних параметрів збудження

Дослідно-методичні роботи вібраційними джерелами виконувалися безпосередньо перед початком польових досліджень і включали в себе:

1. Вибір нижньої частоти свіп-сигналу, при верхній частоті 96 Гц;
2. Вибір верхньої частоти свіп-сигналу, при оптимальній нижній частоті;
3. Вибір довжини свіп-сигналу;
4. Вибір кількості накопичень;
5. Аналіз співвідношення довжини свіп-сигналу при одному накопиченні;
6. Вибір потужності вібраторів;
7. Вибір конусності свіп сигналу;
8. Аналіз співвідношення кількості вібраторів від кількості накопичень;
9. Запис сейсмограми з максимальними параметрами збудження згідно Технічного (Геологічного) завдання;
10. Запис сейсмограми з вибраними параметрами;
11. Запис сейсмограми з вибраними параметрами при виконанні досліджень в межах населених пунктів.

Перебір параметрів для свіп-сигналу на 360-й лінії, 2110 пікеті (точка №2) вказаний в таблиці 4.1, а параметри для пункту збудження на 310 -й лінії, 2105 пікеті (точка №3) вказані в таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Підбір параметрів свіп-сигналу (точка №2, висота 168.7 м)

FFID	№ п/п	Кількість накопичень	Довжина свіп-сигналу с.	Початкова частота Гц	Кінцева частота Гц	Довжина запису с.	Конус на початку	Конус в кінці	Потужність вібраторів %	Кількість вібраторів
Вибір нижньої частоти свіп-сигналу, при верхній частоті 96 Гц.										
20000	1	2	14	4	96	7	0.5	0.5	70	4
20001	2	2	14	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20002	3	2	14	8	96	7	0.5	0.5	70	4
20003	4	2	14	10	96	7	0.5	0.5	70	4
2. Вибір верхньої частоти свіп-сигналу, при нижній оптимальній частоті.										
20004	5	2	14	6	72	7	0.5	0.5	70	4
20005	6	2	14	6	84	7	0.5	0.5	70	4
20006	7	2	14	6	88	7	0.5	0.5	70	4
20007	8	2	14	6	92	7	0.5	0.5	70	4
20008	9	2	14	6	102	7	0.5	0.5	70	4
3. Вибір довжини свіпу										
20012	10	2	12	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20013	11	2	14	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20014	12	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
4. Вибір кількості накопичень.										
20015	13	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20016	14	4	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
5. Аналіз співвідношення довжини свіп-сигналу при 1 накопиченні										
20017	15	1	24	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20018	16	1	28	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20019	17	1	32	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20020	18	1	48	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20021	19	1	56	6	96	7	0.5	0.5	70	4
20022	20	1	64	6	96	7	0.5	0.5	70	4
6. Вибір потужності вібраторів.										
20023	21	1	32	6	96	7	0.5	0.5	75	4
20024	22	1	32	6	96	7	0.5	0.5	80	4
7. Вибір конусності свіп-сигналу.										
20025	23	1	32	6	96	7	1.0	0.5	70	4
20026	24	1	32	6	96	7	1.0	1.0	70	4
8. Аналіз співвідношення кількості вібраторів від кількості накопичень										
20027	25	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	3
20028	26	4	16	6	96	7	0.5	0.5	70	3
9. Запис сейсмограми з максимальними параметрами збудження згідно технічного (геологічного) завдання										
20029	27	4	16	6	96	7	0.5	0.5	80	4
10. Запис сейсмограми з вибраними параметрами										
20030	28	1	32	6	96	7	0.5	0.5	70	4
11. Запис сейсмограми з вибраними параметрами при виконанні досліджень в межах населених пунктів										
20031	29	1	32	6	96	7	0.5	0.5	35	4
20032	30	1	32	6	96	7	0.5	0.5	40	4

Таблиця 4.2 – Підбір параметрів свіп-сигналу (точка №3, висота 113,8 м)

FFID	№ п/п	Кількість накопичень	Довжина свіп-сигналу с.	Початкова частота Гц	Кінцева частота Гц	Довжина запису с.	Конус на початку	Конус в кінці	Потужність вібраторів %	Кількість вібраторів
Вибір нижньої частоти свіп-сигналу, при верхній частоті 96 Гц.										
47	1	2	14	4	96	7	0.5	0.5	70	4
48	2	2	14	6	96	7	0.5	0.5	70	4
49	3	2	14	8	96	7	0.5	0.5	70	4
50	4	2	14	10	96	7	0.5	0.5	70	4
2. Вибір верхньої частоти свіп-сигналу, при нижній оптимальній частоті.										
51	5	2	14	6	72	7	0.5	0.5	70	4
52	6	2	14	6	84	7	0.5	0.5	70	4
53	7	2	14	6	88	7	0.5	0.5	70	4
54	8	2	14	6	92	7	0.5	0.5	70	4
55	9	2	14	6	102	7	0.5	0.5	70	4
3. Вибір довжини свіпу										
56	10	2	12	6	96	7	0.5	0.5	70	4
57	11	2	14	6	96	7	0.5	0.5	70	4
58	12	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
4. Вибір кількості накопичень.										
59	13	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
60	14	4	16	6	96	7	0.5	0.5	70	4
5. Аналіз співвідношення довжини свіп-сигналу при 1 накопиченні										
61	15	1	24	6	96	7	0.5	0.5	70	4
62	16	1	28	6	96	7	0.5	0.5	70	4
64	17	1	32	6	96	7	0.5	0.5	70	4
65	18	1	48	6	96	7	0.5	0.5	70	4
66	19	1	56	6	96	7	0.5	0.5	70	4
67	20	1	64	6	96	7	0.5	0.5	70	4
6. Вибір потужності вібраторів.										
68	21	1	32	6	96	7	0.5	0.5	75	4
69	22	1	32	6	96	7	0.5	0.5	80	4
7. Вибір конусності свіп-сигналу.										
70	23	1	32	6	96	7	1	0.5	70	4
71	24	1	32	6	96	7	1	1	70	4
8. Аналіз співвідношення кількості вібраторів від кількості накопичень										
72	25	2	16	6	96	7	0.5	0.5	70	3
73	26	4	16	6	96	7	0.5	0.5	70	3
9. Запис сейсмограми з максимальними параметрами збудження згідно технічного (г еологічного) завдання										
74	27	4	16	6	96	7	0.5	0.5	80	4
10. Запис сейсмограми з вибраними параметрами										
76	28	1	32	6	96	7	0.5	0.5	70	4
11. Запис сейсмограми з вибраними параметрами при виконанні досліджень в межах населених пунктів										
77	29	1	32	6	96	7	0.5	0.5	35	4
78	30	1	32	6	96	7	0.5	0.5	40	4

Послідовно проводилися всі етапи дослідження, які розпочалися з вибору нижньої частоти свіп-сигналу, при верхній частоті 96 Гц (рисунки 4.8-4.11).

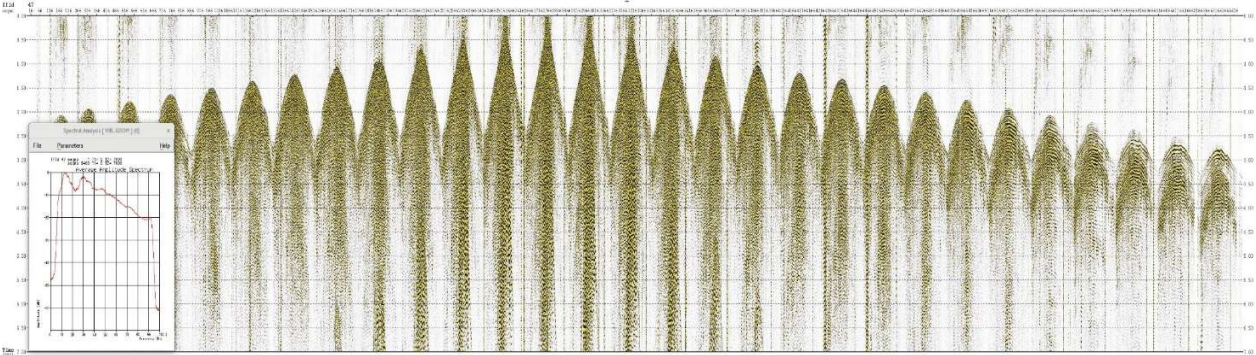


Рисунок 4.8 – FFID 47, нижня частота 4 Гц

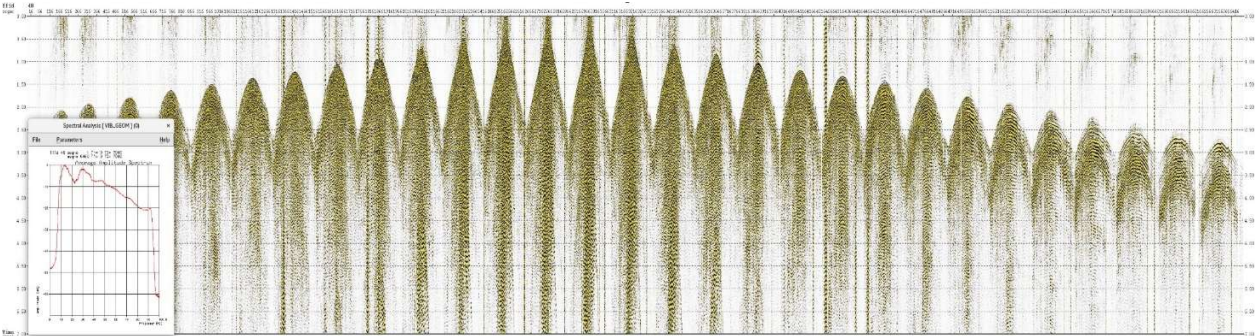


Рисунок 4.9 – FFID 48, нижня частота 6 Гц

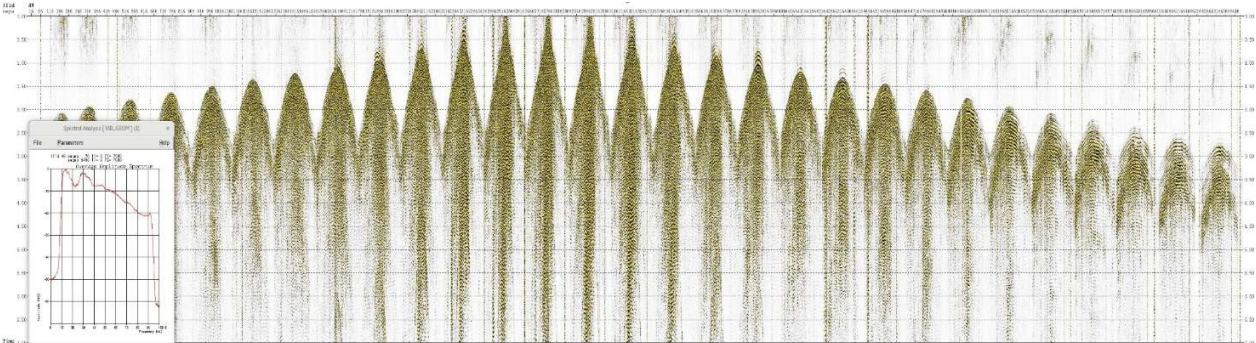


Рисунок 4.10 – FFID 49, нижня частота 8 Гц

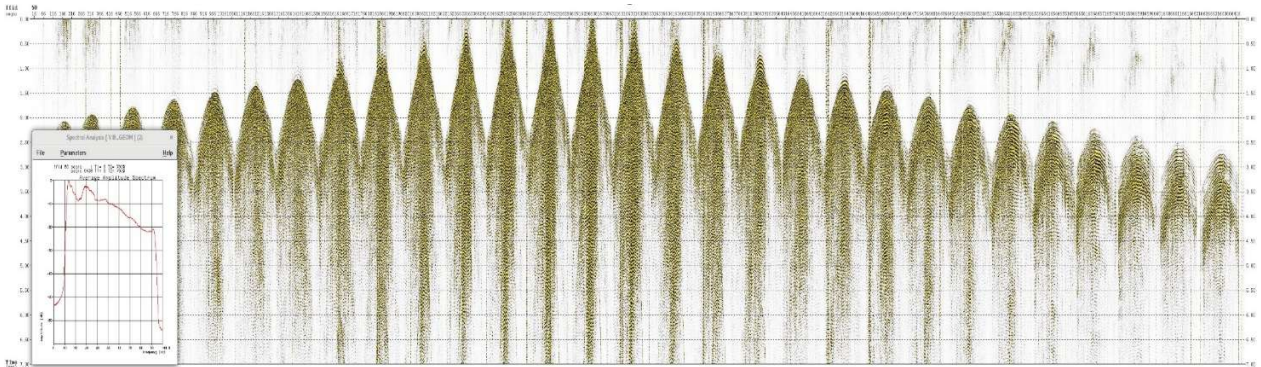


Рисунок 4.11 – FFID 50, нижня частота 10 Гц

При візуальній оцінці отриманих сейсмограм, найкраща динамічна виразність в інтервалах залягання відкладів середнього та нижнього карбону в часовому інтервалі 1.1–3.7 секунд при нижній частоті в 4 та 6 Гц. На даному етапі, було прийнято рішення, продовжити ДМР з значенням даного параметру в 6 Гц (рисунок 4.9).

Наступним кроком був вибір верхньої частоти свіп-сигналу, при оптимальній нижній частоті 6 Гц (рисунок 4.12-4.16).

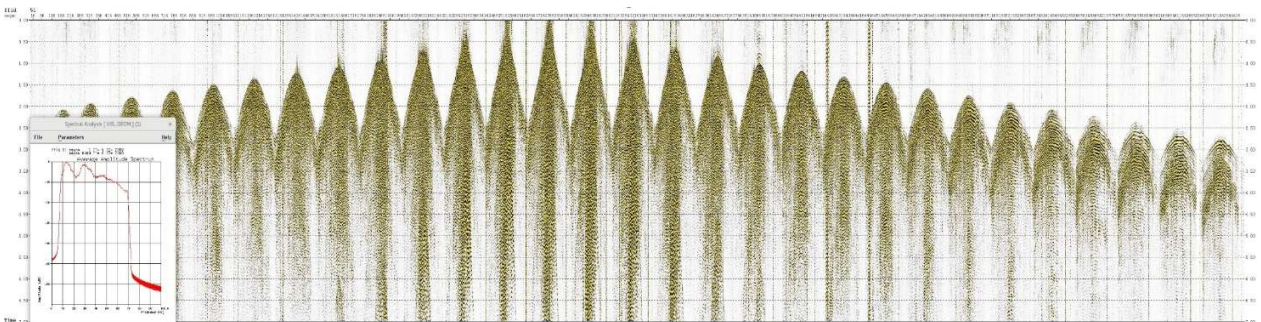


Рисунок 4.12 – FFID 51, верхня частота 72 Гц

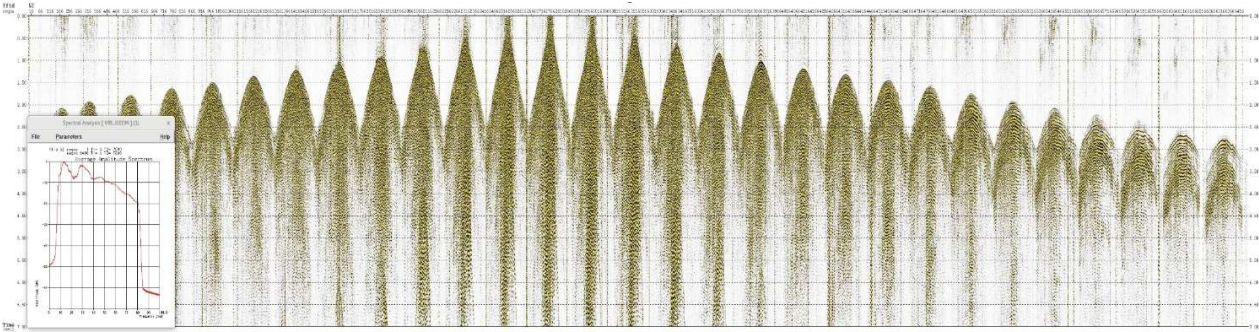


Рисунок 4.13 – FFID 52, верхня частота 84 Гц

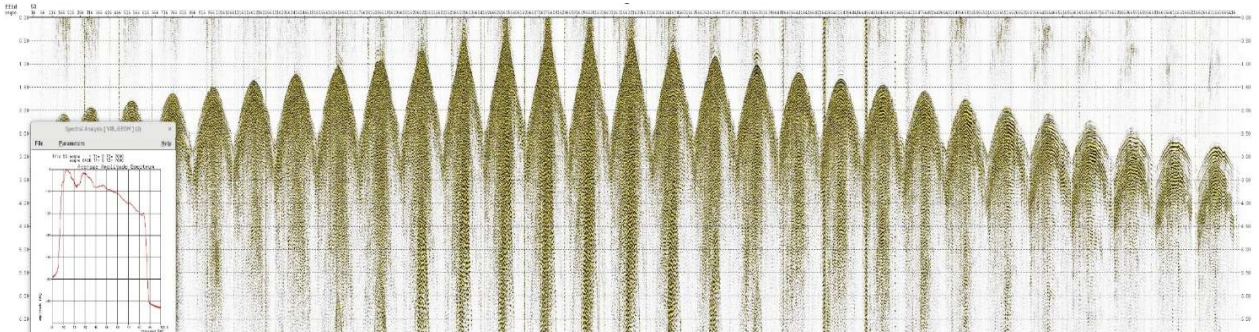


Рисунок 4.14 – FFID 53, верхня частота 88 Гц

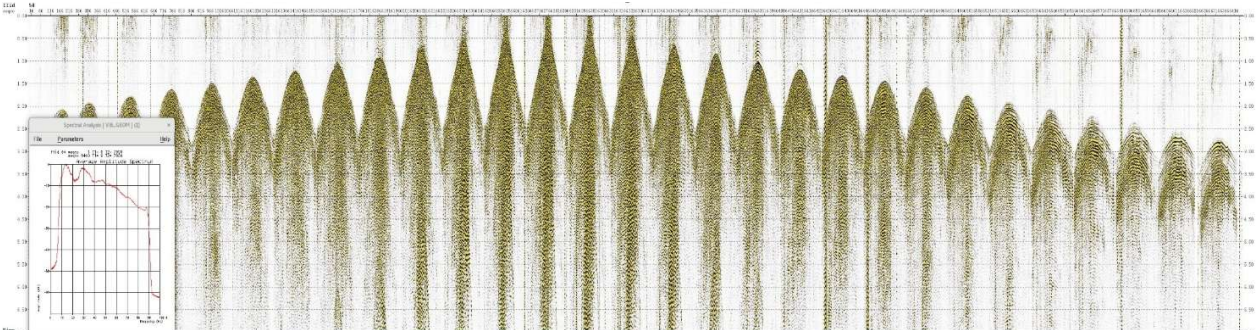


Рисунок 4.15 – FFID 54, верхня частота 92 Гц

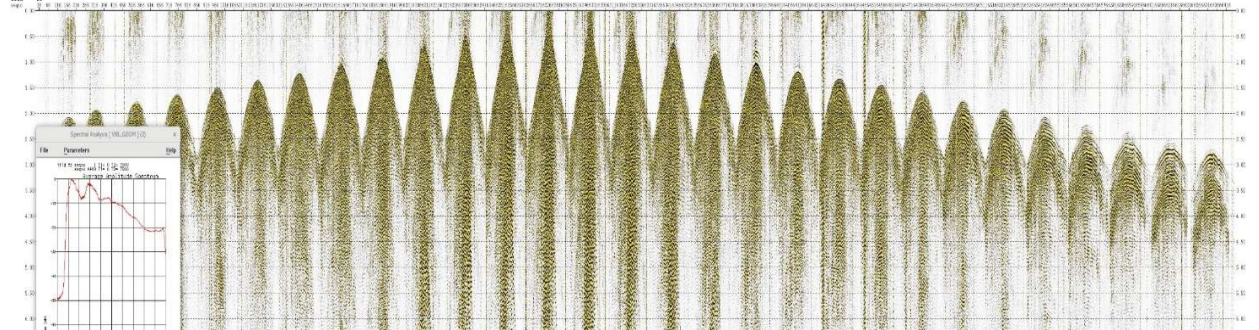


Рисунок 4.16 – FFID 55, верхня частота 102 Гц

Перебираючи параметри верхньої частоти від 72 Гц до 102 Гц, найкраща виразність простежувалась на сейсмограмах з верхньою частотою в 92 Гц (рисунок 4.15). Але, порівнюючи їх із сейсмограмою отриманою раніше (перебір нижньої частоти), де значення верхньої частоти становило 96 Гц, було встановлено – оптимальною верхньою частотою вважати 96 Гц, при якій доволі чітко простежуються горизонти в інтервалі геологічного інтересу, а також присутні низькі частоти в спектрі, що дозволяє отримувати нам інформацію від більш глибоких горизонтів.

Використовуючи обрані частоти свіп-сигналу 6-96 Гц, наступним кроком дослідно-методичних робіт був вибір довжини свіп-сигналу (рисунок 4.17-4.19).

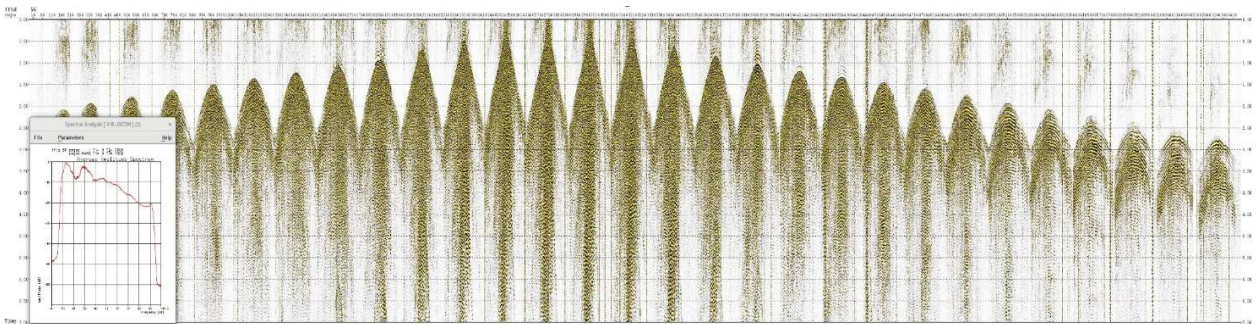


Рисунок 4.17 – FFID 56, тривалість свіп-сигналу 12 с

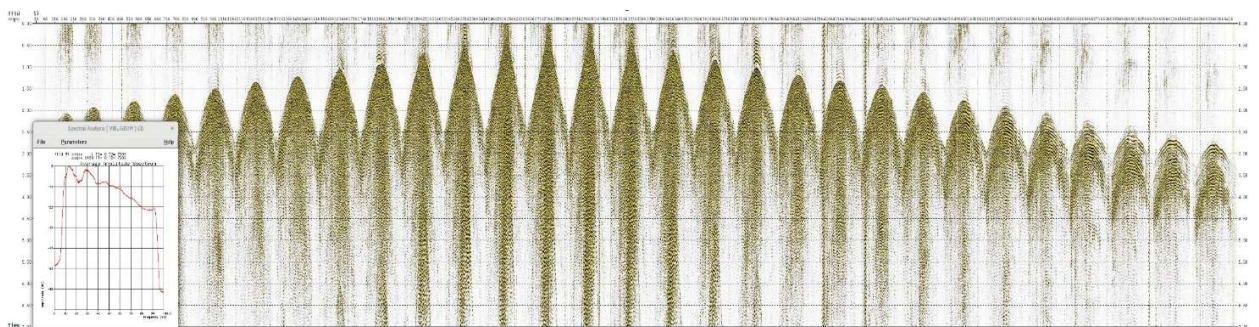


Рисунок 4.18 – FFID 57, тривалість свіп-сигналу 14 с

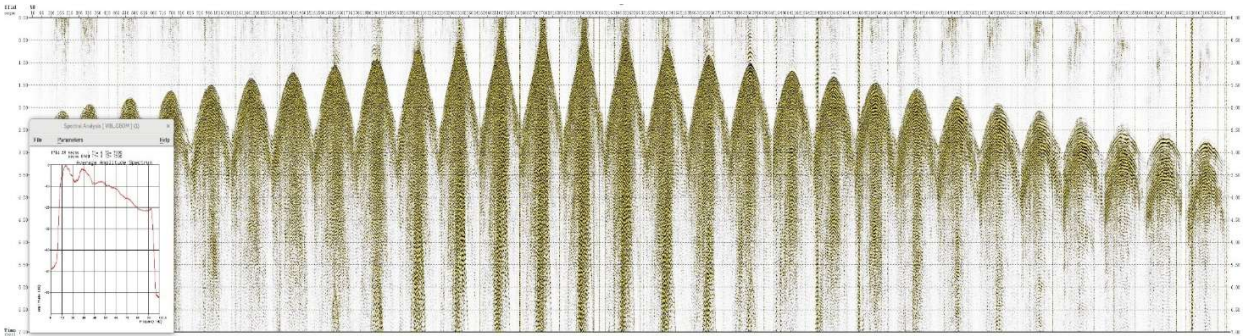


Рисунок 4.19 – FFID 58, тривалість свіп-сигналу 16 с

При зміні довжини свіп-сигналу з 12 до 16 секунд, на сейсмограмах спостерігається ріст енергії. На даному етапі прийнято рішення продовжити ДМД з свіп-сигналом довжиною 16 с (рисунок 4.19).

Далі слідував етап вибору оптимальної кількості накопичень, при частоті свіп-сигналу 6–96 Гц та довжині свіп-сигналу 16 с (рисунки 4.20 і 4.21).

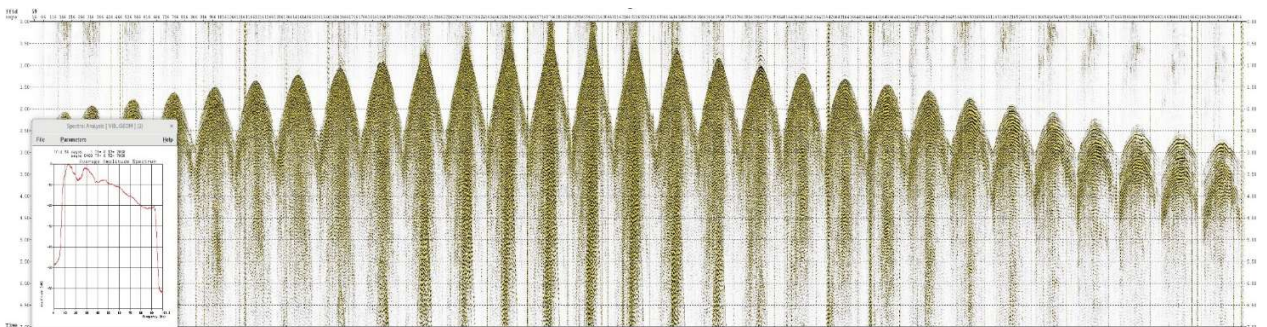


Рисунок 4.20 – FFID 59, 2 накопичення

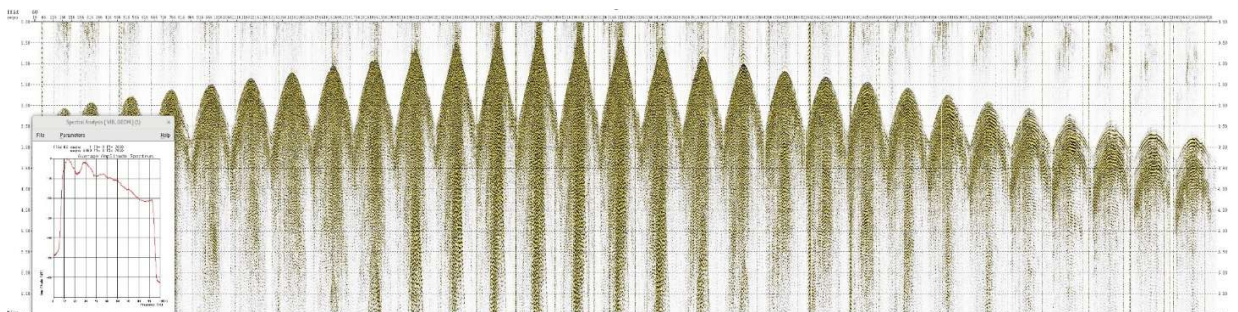


Рисунок 4.21 – FFID 60, 4 накопичення

Збільшуючи кількість накопичень на дослідному пікеті від 2 до 4, при візуальній оцінці, енергія відбиттів є практично ідентичною.

Аналіз співвідношення довжини свіп-сигналу при 1 накопиченні та частоті свіп-сигналу 6–96 Гц проводився для діапазону тривалості сигналу від 24 с до 64 с (рисунки 4.22-4.27).

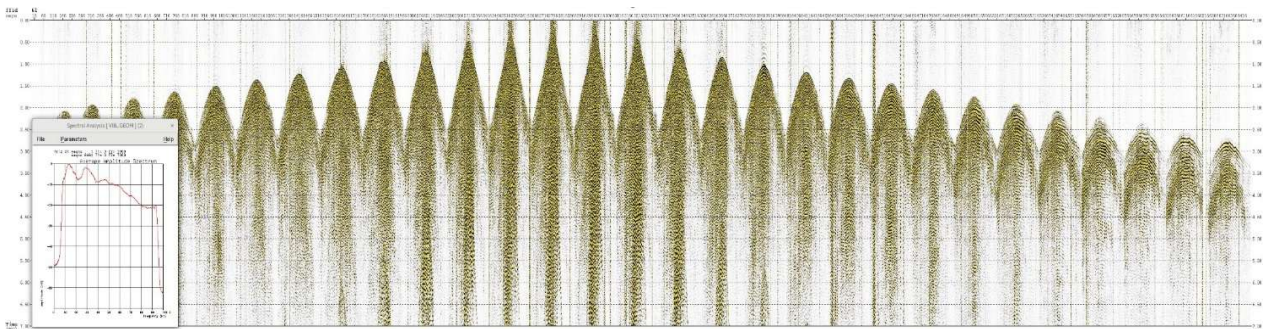


Рисунок 4.22 – FFID 61, тривалість свіп-сигналу 24 с

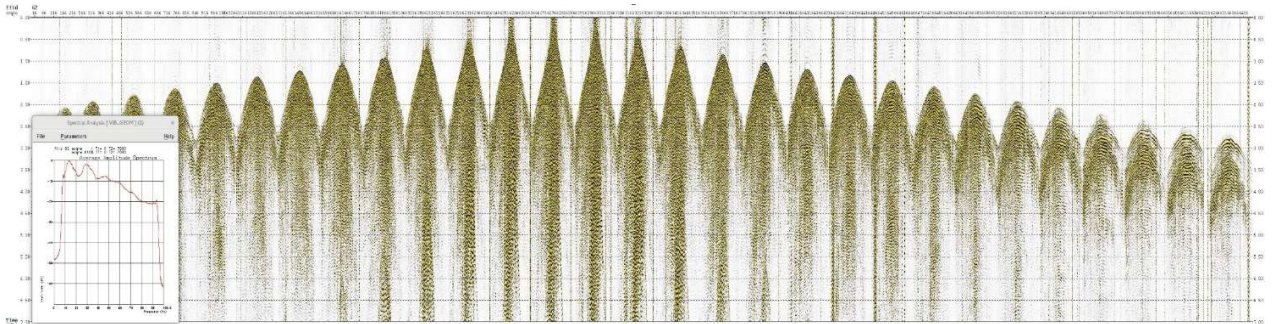


Рисунок 4.23 – FFID 62, тривалість свіп-сигналу 28 с

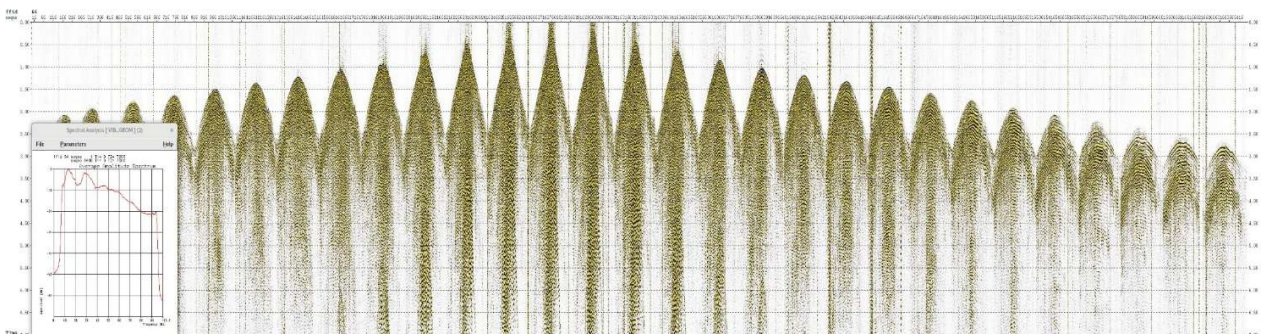


Рисунок 4.24 – FFID 64, тривалість свіп-сигналу 32 с

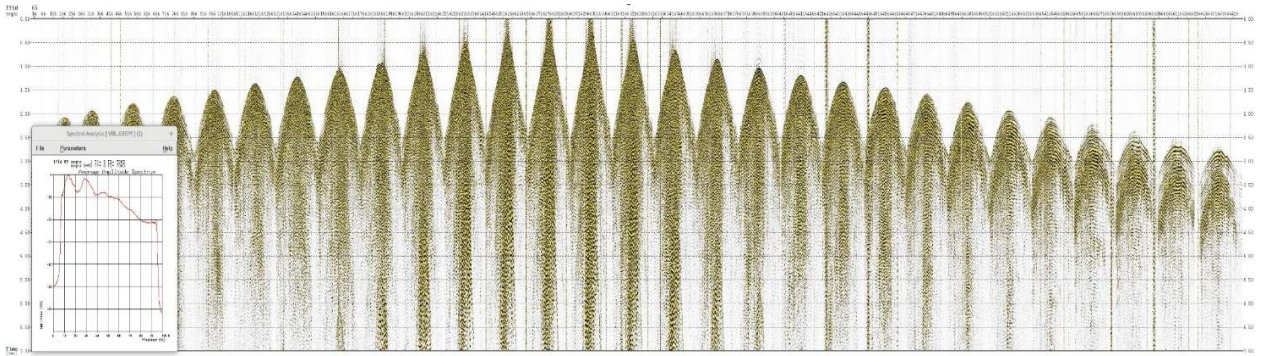


Рисунок 4.25 – FFID 65, тривалість свіп-сигналу 48 с

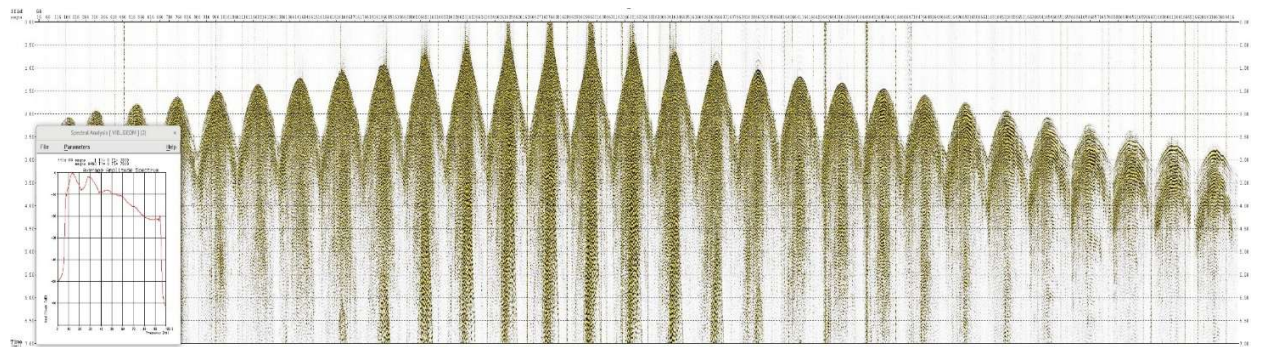


Рисунок 4.26 – FFID 66, тривалість свіп-сигналу 56 с

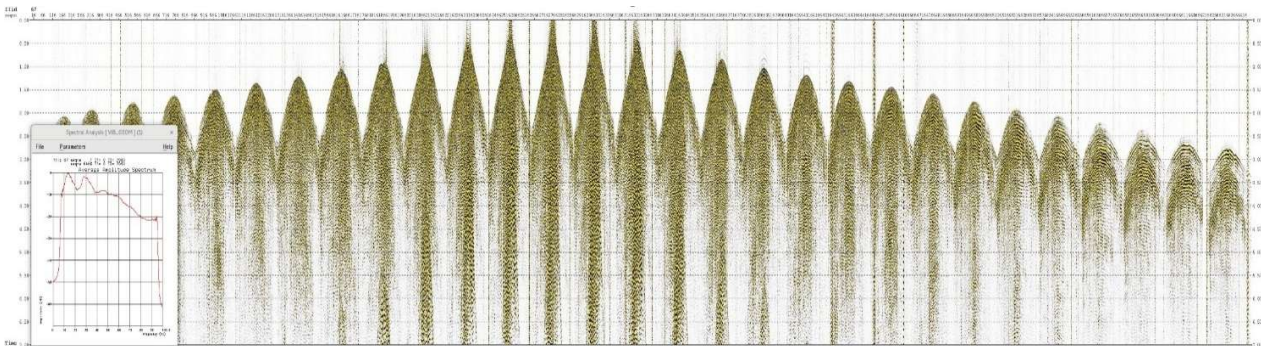


Рисунок 4.27 – FFID 67, тривалість свіп-сигналу 64 с

При виборі потужності вібраторів при кількості накопичень 1, частоті свіп-сигналу 6-96 Гц та довжині свіп-сигналу 32 с, потужність збудження була обрана на рівні 70%, оскільки при збільшенні потужності, пропорційно збільшуються нелінійні спотворення, які обумовлені неоднорідністю ґрунтового покрову.

Наступним був етап вибору конусності нарощування та спаду енергії свіп-

сигналу при потужності вібраторів 70%, кількості накопичень 1, частоті свіп-сигналу 6 - 96 Гц та довжині свіп-сигналу 32 с. Аналіз отриманих даних (рисунки 4.28 і 4.29) дозволив обрати оптимальний параметр конусності 0.5 с. Тому що конусність 0.5 с забезпечує високу якість та кореляцію без втрати критичних частотних компонентів.

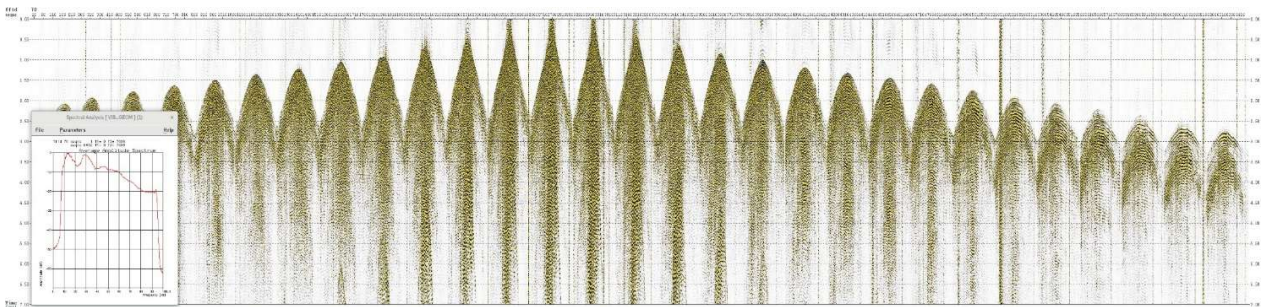


Рисунок 4.28 – FFID 70, конус на початку 1 с, конус на кінці 0.5 с

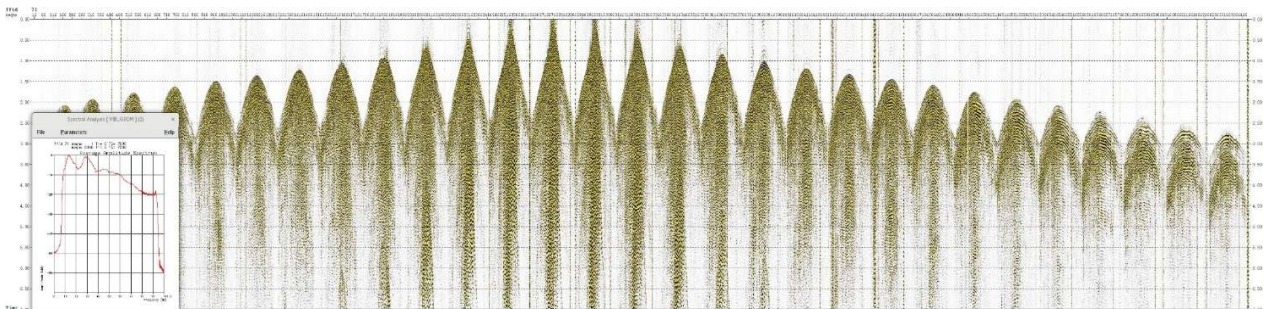


Рисунок 4.29 – FFID 71, конус на початку 1 с, конус на кінці 1

Заключним етапом проводився запис сейсмограми з максимальними параметрами збудження згідно технічного (геологічного) завдання та з оптимальними вибраними параметрами (рисунки 4.30 і 4.31).

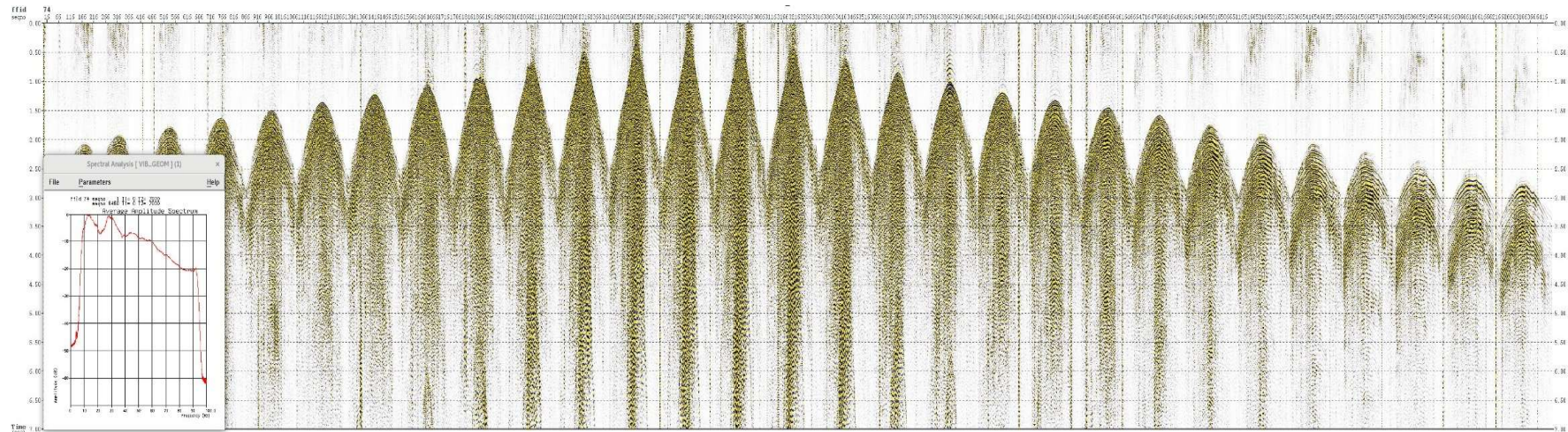


Рисунок 4.30 - Запис сейсмограми з максимальними параметрами збудження згідно технічного завдання

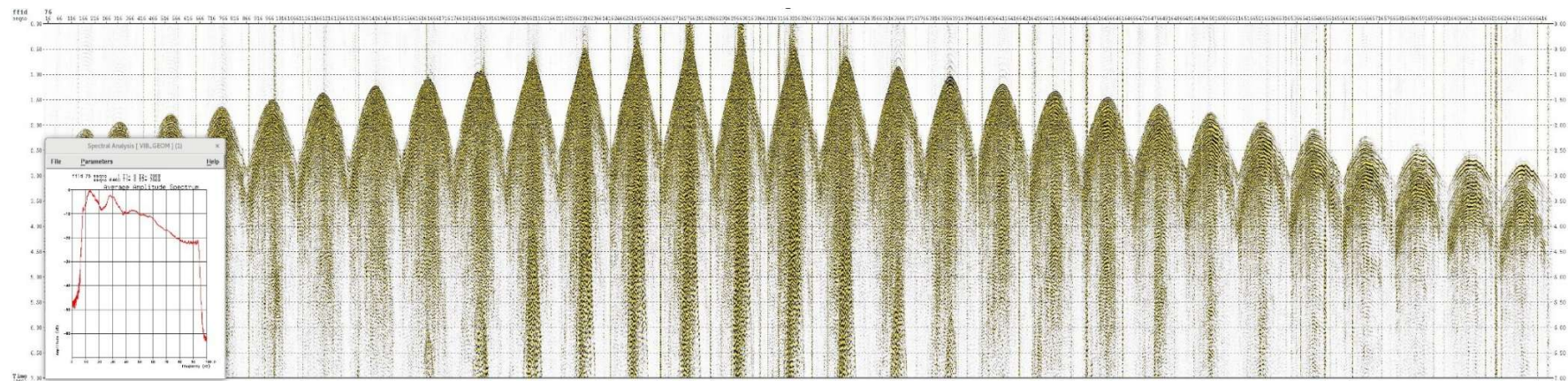


Рисунок 4.31 – Запис сейсмограм з оптимальними вибраними параметрами для вібраційних джерел на 310-й лінії, 2105-му пікеті (точка №3)

Аналогічні дослідно-методичні роботи проводилися і на точці №2 (360-й лінії, 2110-му пікеті). При зіставленні та аналізі отриманих результатів дослідження з використанням сейсмічних вібраторів на точці №2 (360-й лінії, 2110-му пікеті) та на точці №3 (310-й лінії, 2105-му пікеті) були вибрані наступні параметрами:

- Початкова частота – 6 Гц;
- Кінцева частота 96 Гц;
- Кількість накопичень – 1;
- Потужність вібраторів – 70%;
- Конусність свіп-сигналу – 0.5 с;
- Тривалість свіп-сигналу – 32 с.

#### 4.4 Контроль роботи вібраційних джерел збудження

Для підтвердження коректної та узгодженої роботи всіх вібраційних джерел збудження під час польових робіт регулярно проводилися спеціальні контрольні тести, що виконувалися відповідно до встановленого графіка технічної перевірки обладнання, зазвичай не рідше одного разу на тиждень. Основою цього контролю були тести на синхронність роботи вібраторів, які здійснювали через кабельний зв'язок між джерелами та реєструвальною системою. Такий метод дає можливість отримати одночасні записи сигналів від усіх вібраційних установок і тим самим забезпечує більш точну оцінку їх фактичного стану та узгодженості.

У ході тестування перевіряли одразу кілька ключових параметрів, від яких залежить якість формування сейсмічного сигналу. Перш за все аналізували можливий зсув фаз між окремими вібраторами, оскільки навіть незначні відхилення можуть призвести до порушення цілісності сумарної хвильової форми та спотворити результати подальшої обробки даних. Також

контролювали амплітуду нелінійних спотворень, які можуть виникати через технічний знос, некоректне налаштування або зміну умов роботи обладнання. Окрему увагу приділяли часовій затримці огинаючої сигналу, адже вона впливає на коректність суміщення вібросигналів у часі. Крім того, перевіряли частотні характеристики джерел, щоб переконатися, що всі вібратори працюють у заданому робочому діапазоні та не демонструють небажаних відхилень.

Застосування кабельної зв'язки було обрано як найбільш надійний спосіб контролю, оскільки забезпечувало синхронний прийом даних від усіх установок і мінімізувало вплив зовнішніх чинників на результат. Завдяки цьому вдавалося своєчасно виявляти та усувати навіть незначні порушення в роботі вібраційних джерел, підтримуючи стабільну якість сейсмічних збуджень протягом усього періоду робіт на площі.

На рисунках 4.32-4.35 наведені приклади результатів перевірки синхронізації сигналів по кожному вібратору в програмі Testif-i 206. Тестові роботи вібраторами проводились на твердому ґрунті: лінія 335, пікет 2048 (вібратори 1, 2, 3, 4).

#### Висновки по розділу.

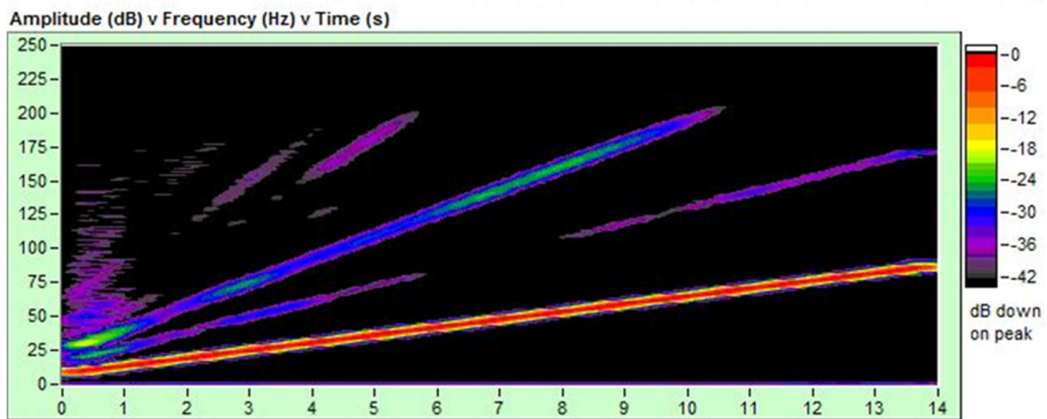
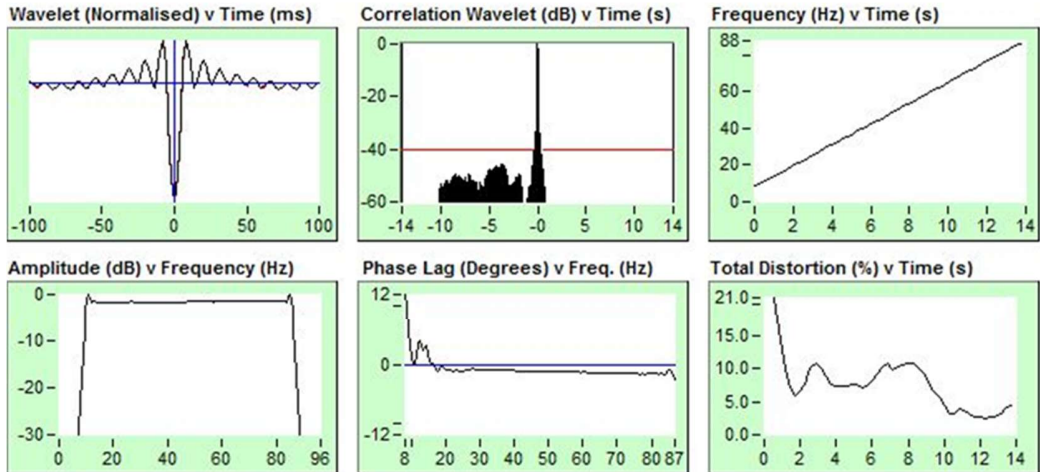
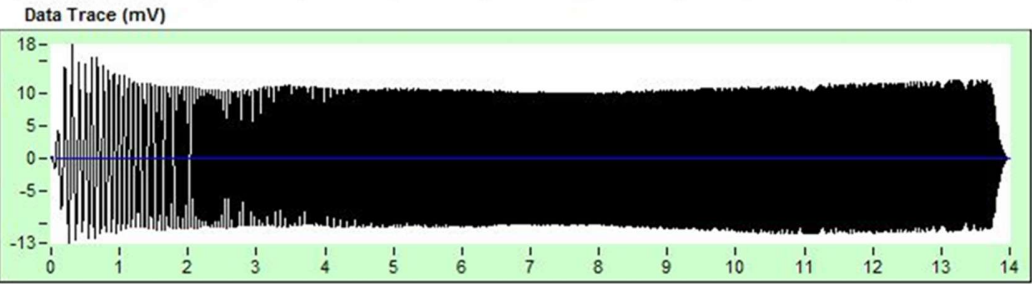
Дослідно-методичні дослідження на площі дозволили отримати масив даних, який був ретельно проаналізований за такими критеріями як подавлення регулярних та нерегулярних завад, чіткість простеження корисних відбиттів в цільових горизонтах, енергія відбиттів, інтенсивність поверхневих хвиль та кореляційний шум. В результаті такого аналізу, були визначені оптимальні параметри збудження та приймання для виконання вимог технічного завдання.

### Vibrator Analysis

Title for Tests  
Printed on All Results Pages

Recorded on 26th July '20 at 3:10:07 pm  
Processed on 26th July 2020 at 3:38:18 pm

Record to Process 4655	Reference Chan. 7	Minimum Frequency 8 Hz @ -20 dB	Vibrator Id. 1		
Record Found 4655	Data Channel 8	Maximum Frequency 88 Hz @ -20 dB	Phase Spec. 20		
Sample Interval (ms) 2.00	Start Time Ref. 2	Start Time Error (us) 2729	Ghost Spec. (dB) 40	Sweep Start (s) 0.000	Sweep Len (s) 14.000



Testif-i Version 2.06, licence 529754036 next update 3. © Verif-i Ltd.

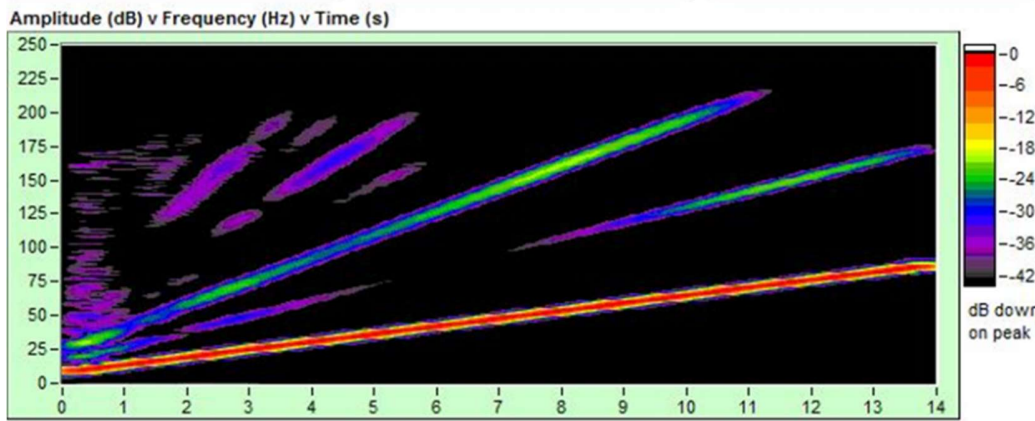
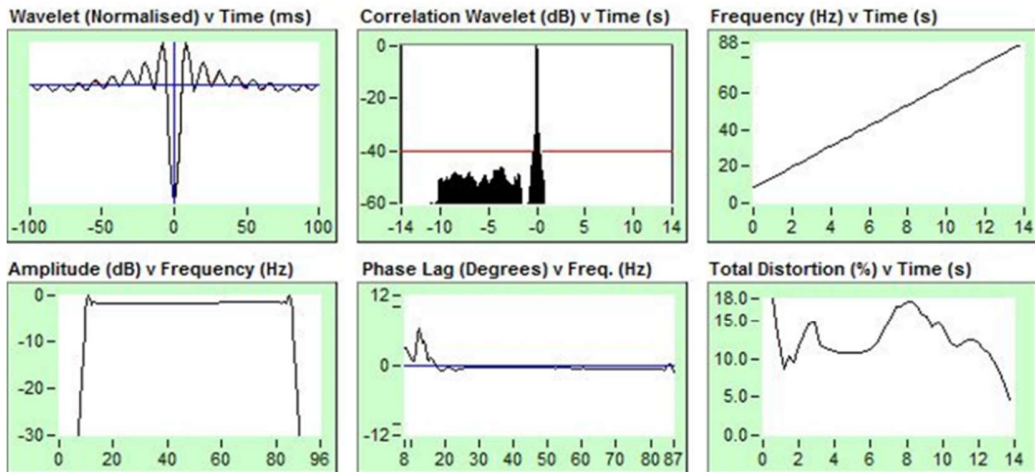
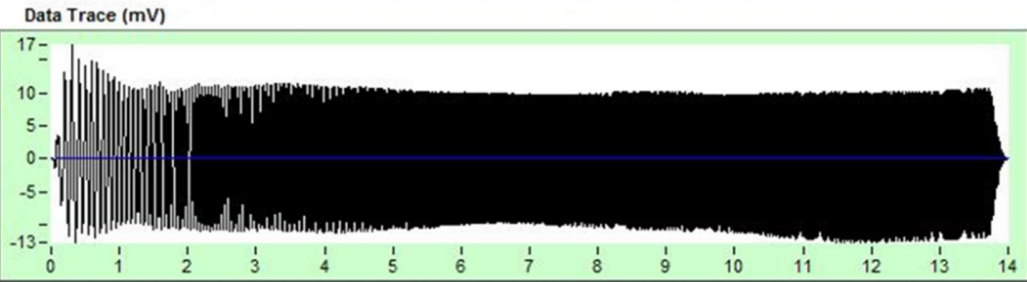
Рисунок 4.32 – Тестові результати роботи вібратора №1

### Vibrator Analysis

Title for Tests  
Printed on All Results Pages

Recorded on 26th July '20 at 3:22:20 pm  
Processed on 26th July 2020 at 3:36:02 pm

Record to Process 4656	Reference Chan. 5	Minimum Frequency 8 Hz @ -20 dB	Vibrator Id. 2		
Record Found 4656	Data Channel 6	Maximum Frequency 88 Hz @ -20 dB	Phase Spec. 20		
Sample Interval (ms) 2.00	Start Time Ref. 2	Start Time Error (us) 2730	Ghost Spec. (dB) 40	Sweep Start (s) 0.000	Sweep Len (s) 14.000



Testif-i Version 2.06, licence 529754036 next update 3. © Verif-i Ltd.

Рисунок 4.33 – Тестові результати роботи вібратора №2

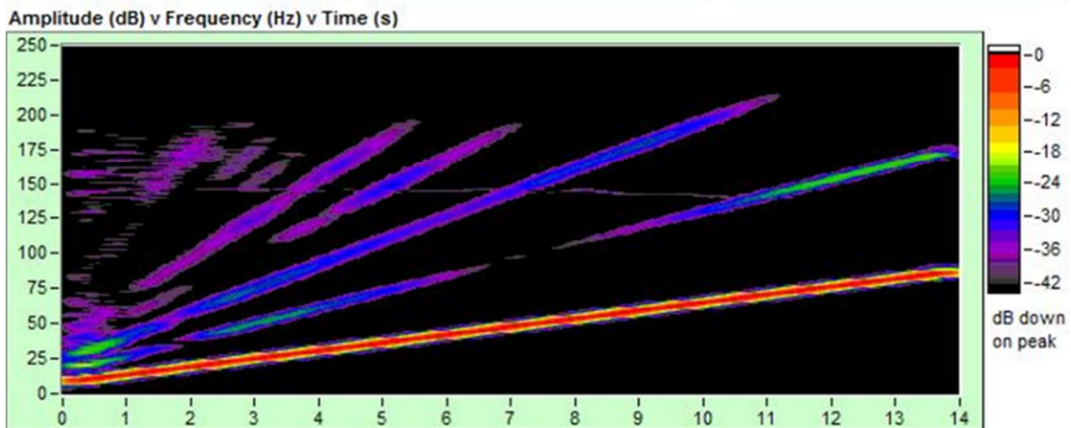
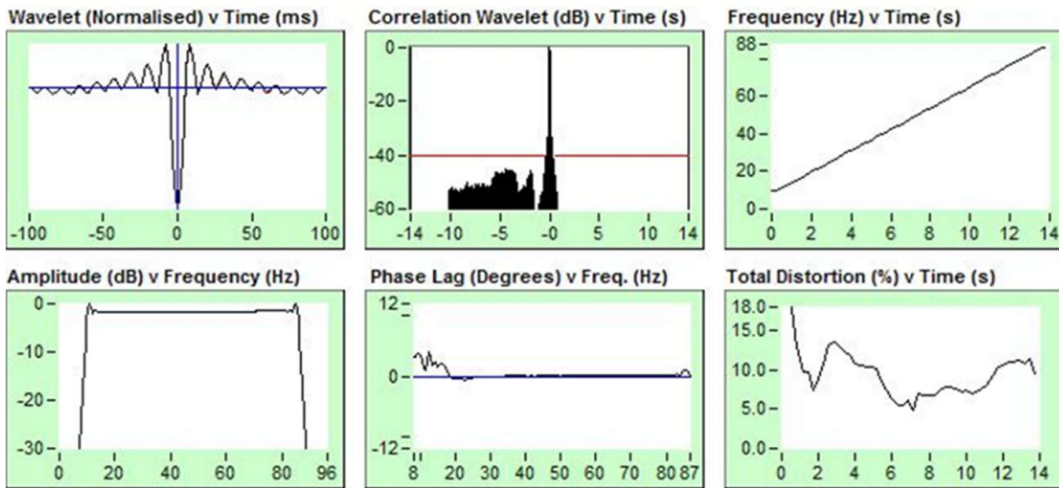
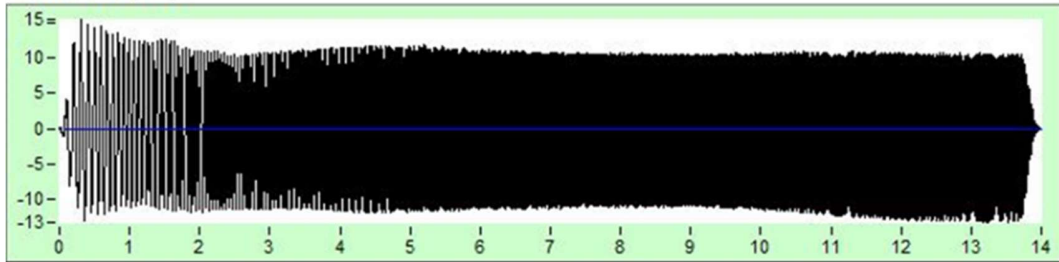
### Vibrator Analysis

Title for Tests  
Printed on All Results Pages

Recorded on 26th July '20 at 3:22:20 pm  
Processed on 26th July 2020 at 3:35:46 pm

Record to Process 4656	Reference Chan. 3	Minimum Frequency 8 Hz @ -20 dB	Vibrator Id. 3		
Record Found 4656	Data Channel 4	Maximum Frequency 88 Hz @ -20 dB	Phase Spec. 20		
Sample Interval (ms) 2.00	Start Time Ref. 2	Start Time Error (us) 2758	Ghost Spec. (dB) 40	Sweep Start (s) 0.000	Sweep Len (s) 14.000

Data Trace (mV)



Testif-i Version 2.06, licence 529754036 next update 3. © Verif-i Ltd.

Рисунок 4.34 – Тестові результати роботи вібратора №3

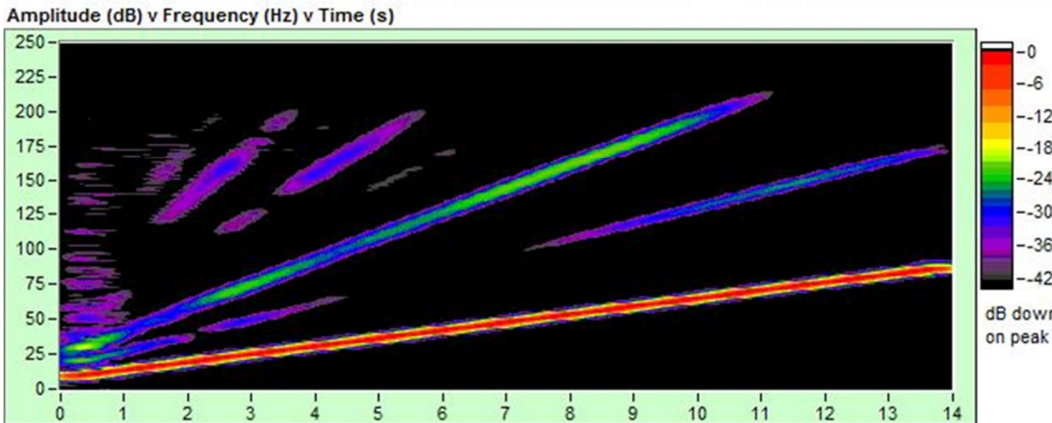
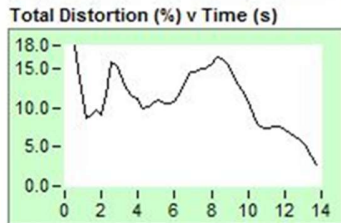
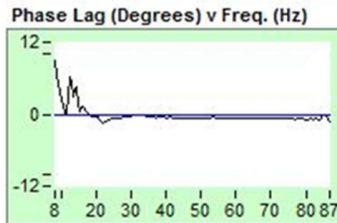
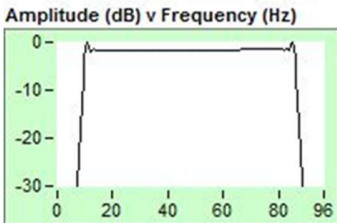
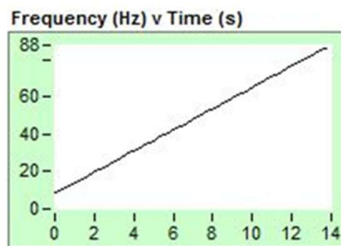
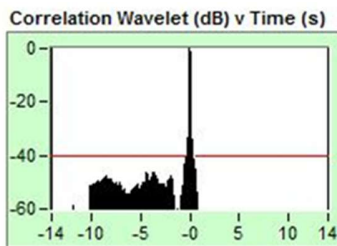
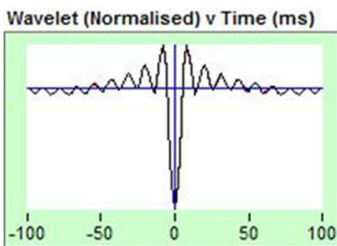
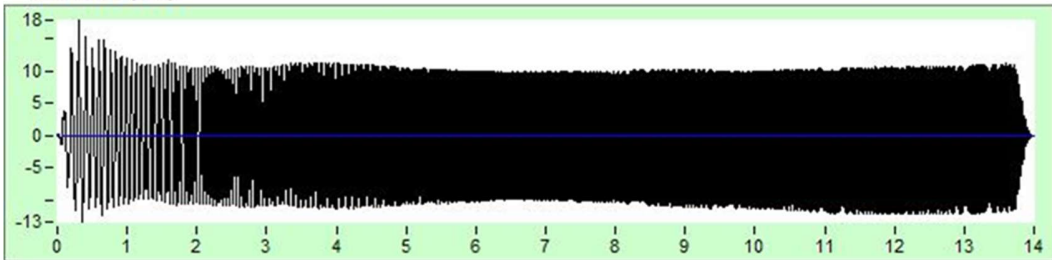
### Vibrator Analysis

Title for Tests  
Printed on All Results Pages

Recorded on 26th July '20 at 3:10:07 pm  
Processed on 26th July 2020 at 3:35:21 pm

Record to Process 4655	Reference Chan. 5	Minimum Frequency 8 Hz @ -20 dB	Vibrator Id. 4		
Record Found 4655	Data Channel 6	Maximum Frequency 88 Hz @ -20 dB	Phase Spec. 20		
Sample Interval (ms) 2.00	Start Time Ref. 2	Start Time Error (us) 2732	Ghost Spec. (dB) 40	Sweep Start (s) 0.000	Sweep Len (s) 14.000

Data Trace (mV)



Testif-i Version 2.06, licence 529754036 next update 3. © Verif-i Ltd.

Рисунок 4.35 – Тестові результати роботи вібратора №4

## ВИСНОВКИ

Проведені дослідно-методичні роботи дозволили комплексно оцінити вплив параметрів вібраційного збудження та приймальних систем на якість отриманого сейсмічного сигналу в умовах Щербаківської площі, де складний рельєф, заболочені ділянки та мінливість гранулометричного складу четвертинних відкладів істотно впливають на поширення хвильового поля.

На основі теоретичного аналізу та серії польових експериментів встановлено, що оптимізація параметрів збудження потребує врахування нелінійної динаміки системи «вібратор – ґрунт». Саме ці явища визначають ефективність передачі енергії, ступінь гармонічних спотворень та стабільність спектральних характеристик свіп-сигналу. Виявлено, що найкраще співвідношення сигнал/шум забезпечує використання нижньої частоти свіпу в межах 6 Гц при верхній частоті 96 Гц, що гарантує достатню глибину проникнення та робочу ширину діапазону.

Експерименти з варіюванням довжини свіп-сигналу показали, що збільшення його тривалості до 32 секунд при одному накопиченні забезпечує кращу енергонасиченість і стійкість корисного сигналу, водночас дозволяючи уникнути небажаних нелінійних спотворень, характерних для тривалих високопотужних свіпів. Підбір оптимальної потужності вібраторів підтвердив доцільність роботи на рівні 70 % від максимального зусилля як компромісу між енергією та мінімізацією поверхневих завад.

Надзвичайно важливим етапом досліджень стало порівняння методик групування геофонів. Аналіз амплітудно-частотних характеристик і FK-спектрів довів, що групування 12 геофонів у точку (радіус  $\leq 1$  м) забезпечує значно нижчий рівень шумів і кращу вертикальну когерентність сигналів порівняно з лінійним групуванням на базі 50 м. Це підтвердило доцільність переходу до

компактного групування або односенсорних систем відповідно до світових тенденцій цифрової сейсморозвідки.

Узагальнення результатів доводить, що дослідно-методичні роботи дали змогу сформуванню комплекс оптимальних параметрів для виробничої 3D-сейсморозвідки:

- нижня частота свіпу – 6 Гц;
- верхня частота – 96 Гц;
- довжина свіпу – 32 с;
- потужність вібраторів – 70 %;
- оптимальна конусність – 0.5/0.5;
- рекомендоване групування приймачів – 12 геофонів у точку.

Впровадження визначених параметрів забезпечує:

- суттєве зростання співвідношення сигнал/шум;
- стабільність спектру та покращення низькочастотної складової;
- підвищення достовірності визначення статичних поправок;
- збільшення роздільної здатності отриманих сейсмічних даних;
- можливість ефективного застосування сучасних алгоритмів обробки.

Таким чином, результати проведеної роботи підтверджують, що комплексна оптимізація параметрів збудження та прийому є ключовою умовою отримання високоякісної сейсмічної інформації. Запропоновані рекомендації є науково обґрунтованими та практично значущими для підвищення ефективності подальших сейсморозвідувальних і геологорозвідувальних робіт на території Щербаківської площі та аналогічних об'єктів.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. J. Zhang, G. Zhao, L. Xu, X. Zhang, X. Liu, J. Zhu Characteristic analysis and data comparative of linear and nonlinear low-frequency sweep in vibroseis // *Journal of Geophysics and Engineering*, Volume 21, Issue 1, February 2024, Pages 244–256. <https://doi.org/10.1093/jge/gxad108>  
<https://academic.oup.com/jge/article/21/1/244/7503934>
2. Zhouhong Wei, Jason Criss, Andy Bull, Fuhe Liang The low-frequency seismic vibrator: Design and experimental verification // *First Break* 36(1), p.77-84. DOI:[10.3997/1365-2397.n0066](https://doi.org/10.3997/1365-2397.n0066)  
[https://www.researchgate.net/publication/322491118\\_The\\_low-frequency\\_seismic\\_vibrator\\_Design\\_and\\_experimental\\_verification](https://www.researchgate.net/publication/322491118_The_low-frequency_seismic_vibrator_Design_and_experimental_verification)
3. N. Tellier, G. Ollivrin & D. Boucard Tu ELI2 16 Optimizing the Generation and QC of Low-Dwell Sweeps – Sercel // 76th EAGE Conference & Exhibition 2014 Amsterdam RAI, The Netherlands, 16-19 June 2014  
[https://www.sercel.com/sites/default/files/2023-07/Optimizing\\_the\\_generation\\_and\\_QC\\_of\\_low-dwell\\_sweeps\\_abstract\\_VE364\\_EAGE\\_Amsterdam\\_June14.pdf](https://www.sercel.com/sites/default/files/2023-07/Optimizing_the_generation_and_QC_of_low-dwell_sweeps_abstract_VE364_EAGE_Amsterdam_June14.pdf)
4. Y. Liu, X. Wen, B. Li, Zh. An, D. Wu Designing nonlinear sweep signal to improve the resolution of vibroseis acquisition // *GEOPHYSICS*, Volume 90, Issue 5. <https://doi.org/10.1190/geo2024-0490.1>  
<https://library.seg.org/doi/10.1190/geo2024-0490.1>
5. Xun Peng, Lei Hao Nonlinear dynamic characteristics of a vibrator–ground system considering surface topography // *Nonlinear Dynamics*, 111(16), p.1-20. DOI:[10.1007/s11071-023-08613-5](https://doi.org/10.1007/s11071-023-08613-5)  
[https://www.researchgate.net/publication/371279144\\_Nonlinear\\_dynamic\\_characteristics\\_of\\_a\\_vibrator-ground\\_system\\_considering\\_surface\\_topography](https://www.researchgate.net/publication/371279144_Nonlinear_dynamic_characteristics_of_a_vibrator-ground_system_considering_surface_topography)
6. X. Penga, Zh. Huang, S. López-Querolb, L. Hao Nonlinear 3D finite

element analysis of a shear vibrator-ground interaction system // *UCL Discovery*, 31 P.  
[https://discovery.ucl.ac.uk/10116063/1/Xun%20et%20al\\_2020.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/10116063/1/Xun%20et%20al_2020.pdf)

7. A.S.M. Fahad Hossain, A. Saeidi, M. Salsabili, M. Nastev, J. Ruiz Suescun A Review of Parameters and Methods for Seismic Site Response – MDPI // *Geosciences*, 2025, 15 (4), 128. <https://doi.org/10.3390/geosciences15040128>  
<https://www.mdpi.com/2076-3263/15/4/128>

8. N. Tellier, S. Laroche, H. Wang and Ph. Herrmann Single-sensor acquisition without data jitter: a comparative sensor // *First Break*, Volume 39, January 2021, p. 1-9. [https://www.sercel.com/sites/default/files/2023-07/Single-sensor\\_acquisition\\_without\\_data\\_jitter\\_Sercel\\_FirstBreak\\_Jan2021.pdf](https://www.sercel.com/sites/default/files/2023-07/Single-sensor_acquisition_without_data_jitter_Sercel_FirstBreak_Jan2021.pdf)

9. X.-X. Hu, X.-Zh. Wang, B. Chen, etc. Improved Resolution and Cost Performance of Low-Cost MEMS Seismic Sensor through Parallel Acquisition // *Sensors*, 2021, 21 (23), 7970. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/23/7970>

10. <https://procedure.prozorro.sale/api/documents/public/f2150832f627472e9a76b273ab369173>

11. Атлас родовищ нафти і газу України в шести томах / За редакцією М.М. Іванюти, В.О. Феदिшина, Б.Ш. Денєги, Ю.О. Арсірія, Я.Г. Лазарука – Львів, 1998.

12. Звіт про сейсмічні дослідження СГТ, проведені Щербаковською 30/73-74 і Лютовською 30/74 сейсморозвідувальними партіями на Братешковській площі в Решетилівському районі Полтавської області в 1973-1974 рр.» (інв.№37649, ЗУГРЕ тр. Укргеофізрозвідка, Будаєва В.В., Здоровенко М.М., Львів, 1975)/

13. A. Tyshchenko, A. Vyzhva, L. Melnyk, J. F. Tegnander, L.-E. Kittell K. S. Helgebostad STATE-OF-THE-ART 3D ACQUISITION AND IMAGING IN ULTRA-SHALLOW WATER IN THE NORTHWESTERN PART OF THE BLACK SEA // *ВІСНИК Київського національного університету імені Тараса Шевченка*, 3(106), 2024. С.13-18

<http://doi.org/10.17721/1728-2713.106.02>

14. В.І. Старостенко, І.К. Пашкевич, І.Б. Макаренко, П.Я. Купрієнко, А.С. Савченко Геодинамічна інтерпретація геолого-геофізичної неоднорідності літосфери Дніпровсько-Донецької западини // *Допов. Нац. акад. наук України*, 2017, №9, с.84-94

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084>

15. [https://oil-gas.com.ua/novyny/ukrnafta\\_doslidyla\\_1330\\_km\\_ploshch\\_za\\_dopomohoiu\\_3d\\_seis\\_morozviduvalnykh\\_robit\\_za\\_try\\_roky](https://oil-gas.com.ua/novyny/ukrnafta_doslidyla_1330_km_ploshch_za_dopomohoiu_3d_seis_morozviduvalnykh_robit_za_try_roky)