

УДК 550.832.4, 550.834.08

В. Андрущенко, пров. інж.,
В. Курганський, д-р геол.-мінералог. наук, В. Бугрій, асп.

МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ВІБРОАКУСТИЧНИХ СВЕРДЛОВИННИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат.-наук, проф. Г.Т. Продайводою)

Розглянуто проблему підвищення ефективності комплексу свердловинних геофізичних досліджень шляхом впровадження методів отримання геолого-геофізичної та технологічної інформації в процесі буріння, проаналізовано сучасний стан технічного супроводу буріння нафтогазових свердловин. Наведено аналіз матеріалів випробування модуля виміру вібрацій бурового долота, практичне застосування отриманої інформації з метою вирішення геологічних задач та окреслено подальший напрямок досліджень.

Investigated the problem of effectiveness increase of complex geophysical researches via implementation of geological-geophysical and technological data accessing methods in boring process, examined the actual state of technical tracking in boring of oil-and-gas boreholes. Given the test data analysis of estimation module for bore bit vibration of accessed information with a purpose of solving geological problems and defined the further line of researches.

Вступ. У наш час для нафтогазової геології характерною є ситуація, коли об'єктом вивчення дедалі частіше стають невеликі локальні структури, розміщені на значних глибинах, що часто складно побудовані або ж представлені нетрадиційними пастками (зокрема, поклади не антиклінального типу та пов'язані з тектонічними порушеннями) [7]. Внаслідок цього, сучасне нафтогазове буріння являє собою економічно важливий і технологічно складний процес. Економічні фактори роблять задачу підвищення ефективності буріння, вивчення труднощів, що виникають, і пошуку шляхів до їх усунення важливим об'єктом як практичного, так і теоретичного розгляду [1]. Цінність досліджень процесу буріння разом із складністю і багатогранністю фізичних явищ, що пов'язані з ним, приводить до великої кількості наукових досліджень, присвячених даному питанню. На сьогодні при проведенні пошуково-розвідувальних робіт досить гостро стоїть задача підвищення ефективності комплексу свердловинних геофізичних досліджень. Одним з основних шляхів вирішення цієї проблеми є широке впровадження в практику геологорозвідувальних робіт методів одержання оперативної інформації про геологічну будову навколосвердловинного простору безпосередньо під час буріння свердловини. Актуальність наукових пошуків у даному напрямку очевидна: по-перше, це дозволить підвищити точність геонавігації й значно скоротити час проходки свердловин, по-друге, одночасне вивчення гірських порід за даними комплексу геофізичних і геолого-технологічних

методів досліджень в процесі буріння в остаточному підсумку підвищить геологічну й економічну ефективність пошуків, розвідки й розробки вуглеводневих покладів. В останні роки було створено ряд новітніх технологій в галузі геофізичних досліджень надр, орієнтованих на одержання геофізичної й геолого-технологічної інформації в масштабі реального часу, що реєструється безпосередньо в процесі буріння свердловин [3]. До таких технологій відноситься вертикальне сейсмічне профілювання у процесі буріння (ВСП ПБ) – модифікація методу ВСП, що використовує в якості сейсмічного джерела працююче бурове долото і дозволяє вирішувати досить широкий спектр задач [2, 8].

Постановка задачі. На сучасному етапі метод ВСП ПБ має широке поширення за кордоном, де на основі досліджень вчених (Poletto F., Miranda F., Rector J., Widrow D., Marion B. та інші) створено ряд систем сейсмічних свердловинних досліджень у процесі буріння [9]. За станом десятиліття в Росії метод ВСП ПБ набув широкого розповсюдження завдяки працям Г.А. Шехтмана, А.В. Копчикова, А.О. Табакова, М.Б. Шнеєрсона, були розроблені методики реєстрації та обробки даних ВСП в процесі буріння, зокрема SDP (НБК "Геопроєкт"). У нашій країні на сьогоднішній день технологія вертикального сейсмічного профілювання в процесі буріння практично не використовується. Обов'язковим етапом при створенні подібної технології є вивчення особливостей пружних коливань джерела – бурового долота.

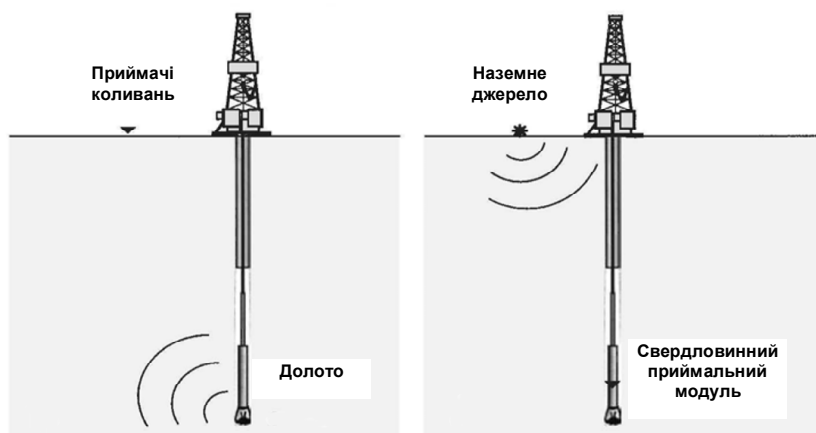


Рис. 1. Схема проведення сейсмічних досліджень при ВСП ПБ (а) та класичному вертикальному сейсмічному профілюванні (б)

Використання віброакустичного сигналу долота (як окремо, так і при кореляції з наземними сейсмічними дослідженнями) дозволяє вирішувати широкий спектр як технологічних, так і геолого-геофізичних задач [4]:

- ✓ Оцінка деформаційно-міцнісних характеристик пройдених порід
- ✓ Визначення поточних координат положення долота
- ✓ Прогнозування моменту підходу бурового інстру-

менту до елементів розрізу, що можуть ускладнювати процес буріння

✓ Вивчення швидкостей розповсюдження пружних хвиль для побудови геоакустичної моделі середовища

✓ Літологічне розчленування розрізу пройдених відкладів, прогнозування геологічного розрізу нижче вибою та в навколо свердловинному просторі.

У процесі дії долота на вибій свердловини формується квазівипадковий процес випромінювання пружних коливань в оточуюче середовище та розповсюдження цих коливань по буровій колоні. Реєстрація сигналу вібрацій колони на поверхні чи в безпосередній близькості від долота дозволяє отримати параметри коливань, що розповсюджуються від вибою в оточуюче середовище, а також інформацію про розбурюванні породи, режим буріння та стан долота. Сигнал, що розповсюджується в геологічному середовищі несе інформацію про структуру навколосвердловинного простору та розрізу нижче вибою свердловини і може бути зареєстрований наземними сейсмоприймачами. Використовуючи сигнал від бурової колони чи долота в якості опорного, можна перетворити ці записи в імпульсну форму шляхом формування функції взаємної кореляції сигналу і записів сейсмоприймачів (за аналогією з наземною вібраційною сейсмозвідкою). Отримані таким чином сейсмограми практично не відрізняються від сейсмограм оберненого ВСП з глибинним імпульсним джерелом [6].

Зауважимо також, що вібрація в бурінні являється досить складним процесом, що вимагає підвищеної уваги до її вивчення [5]. Досі не створена єдина експериментально підтверджена математична модель процесу буріння, не існує чіткого уявлення про той чи інший вид вібрації та причини, що їх викликають, мало досліджені властивості механічної системи "долото – бурова колона – вишка" [3].

У роботі [5] доведено низьку ефективність оцінки сигналу долота при використанні бурової колони в якості акустичного каналу зв'язку, пов'язану із значним спотворенням сигналу в діапазоні частот 40–300 Гц під час його проходження в колоні. Зважаючи на вище сказане, існує проблема точного визначення характеристик коливань, генерованих долотом, вирішення якої можливе при використанні свердловинних приладів, розміщених у безпосередній близькості до компоновки низу бурової колони (КНБК) та вибою свердловини.

Експериментальне випробування модуля реєстрації вібрації долота. Для дослідження характеристик віброакустичного сигналу, генерованого долотом, фахівцями механіко-математичного та геологічного факультетів КНУ імені Тараса Шевченка був створений свердловинний прилад "Вібро" (призначений для реєстрації вібрацій КНБК) та відповідне програмне забезпечення. Проведені лабораторні та дослідні випробування приладу в умовах реальних свердловин при різних режимах буріння з шарошковим долотом засвідчують його ефективність при вирішенні задачі оцінки віброакустичного сигналу долота. Головною метою випробувань свердловинного вібрографа була оцінка збігу амплітудно-частотних характеристик приладу з рівнем реальних параметрів вібрацій свердловинного забійного інструменту в умовах буріння. Випробування проводилися під час проходження не обсадженої свердловини глибиною близько 4000 м на буровій в Полтавській області.

Були отримані чотирикомпонентні (3+дублювання однієї "горизонтальної" компоненти) записи вібрації бурового інструменту при різних режимах роботи – спуск приладу, буріння із зусиллями 7 та 16 тон, зупинка буріння та підйом приладу на поверхню (рис. 2-4).

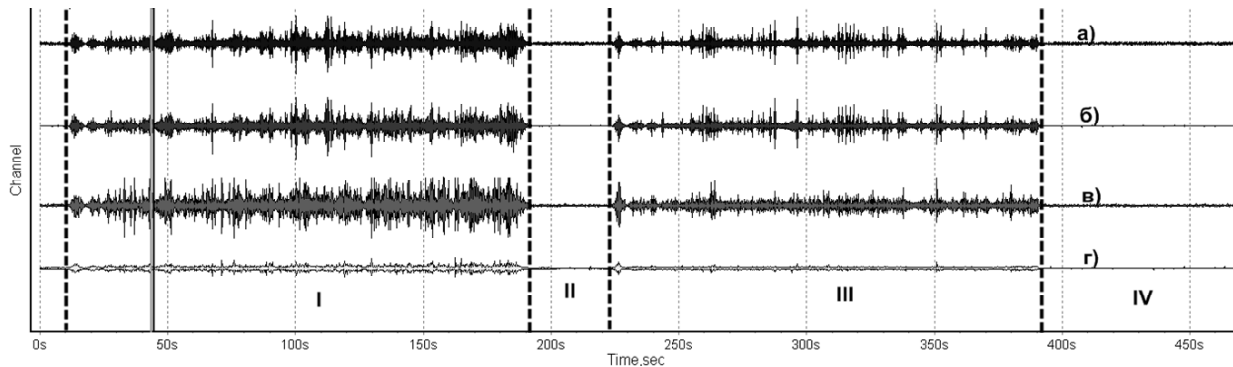


Рис. 2. Фрагмент чотирикомпонентного запису вібрації долота, шарошечне буріння (а – X1-компонента, б – X2-компонента, в – Y-компонента, г – Z-компонента) I – буріння з навантаженням 16 тон, II – зміна режиму буріння, III – буріння з навантаженням 7 тон, IV – зупинка буріння та підйом приладу на поверхню

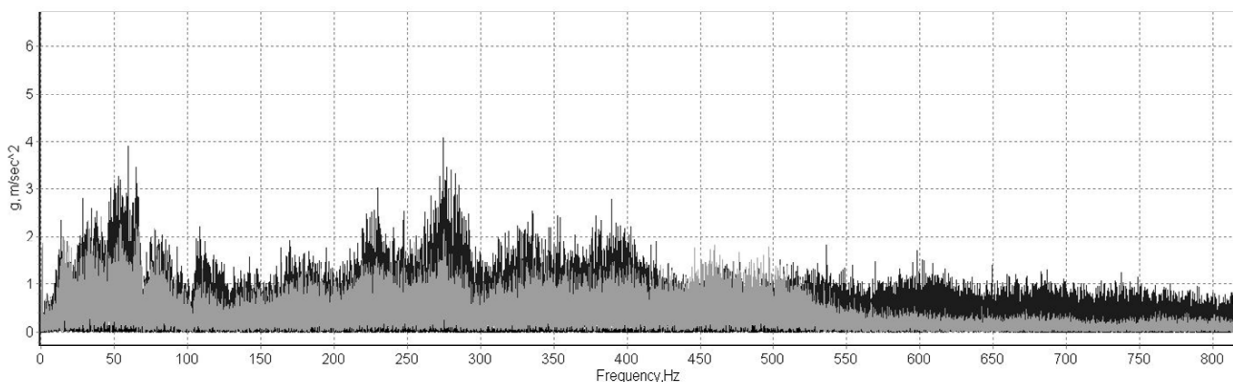


Рис. 3. Частотний спектр (4 компоненти) реалізації вібрації, шарошечне буріння із зусиллям 16 тонн

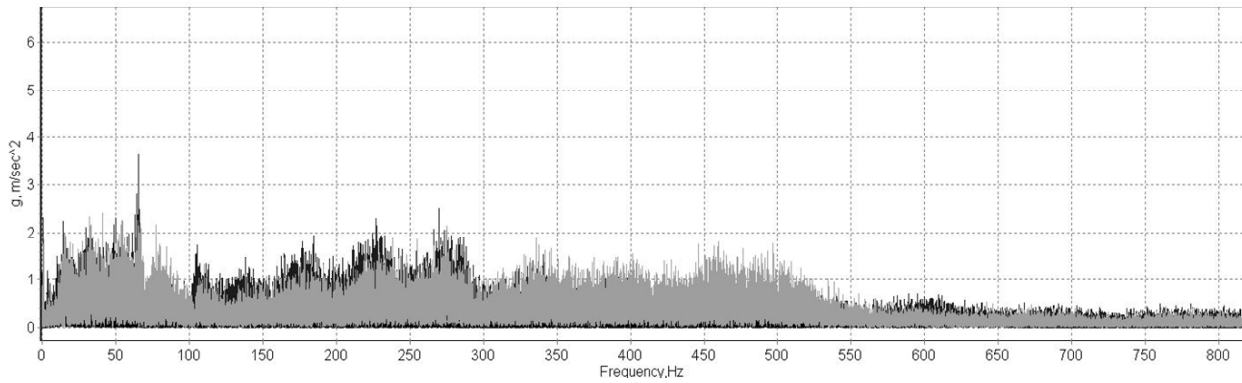


Рис. 4. Частотний спектр (4 компоненти) реалізації вібрації, шарошечне буріння із зусиллям 7 тонн

Аналіз отриманих результатів дає підстави стверджувати, що найбільш інформативними являються компоненти вібрації, що лежать у площині, перпендикулярній осі свердловини (X1, X2 та Y – компоненти), умовно "вертикальна" Z-компонента дозволяє оцінити рівень повздовжніх вібрацій КНБК та бурової колони та дає змогу контролювати правильність вибору параметрів буріння.

Як відомо з наукових досліджень [5], періодичні осьові переміщення корпусу долота при перекочуванні шарошок з зубця на зубець можна вважати імпульсною дією пари "зубець – порода" на колону бурильних труб. Період коливань, в першому наближенні, можна представити так

$$T = \frac{2\pi}{Z_B \omega_B}, \quad (1)$$

де Z_B – кількість зубців периферійного вінця шарошки, ω_B – кутова швидкість шарошки.

Згідно з виразом (1) $T = 0,0019-0,0027$ с, що дає можливість розглядати взаємодію колони і вибою як ударну імпульсну дію та виокремити із сигналу окремі компоненти, наприклад, вібрацію при дії зубців шарошок на вибій свердловини (280 – 520 Гц).

У праці [4] відмічається наявність зв'язку параметрів вібрації із вибійними умовами, зокрема зміна амплітуди і форми коливань в процесі буріння пов'язується зі зміною твердості порід, що складають геологічний розріз. Також, експериментальним шляхом було встановлено (Симо-

нов В.І.), що амплітуда і форма сигналу від долота при бурінні м'яких порід близька до синусоїдальної. Буріння порід середньої твердості призводить до спотворення симетрії форми сигналу, а при бурінні найбільш твердих гірських порід в сигналі чітко простежуються короткі поодинокі сплески значної амплітуди (рис. 5.). Таким чином, віброакустичний сигнал дає змогу принаймні на якісному рівні провести розчленування порід пройдених свердловиною при бурінні (рис.6.).

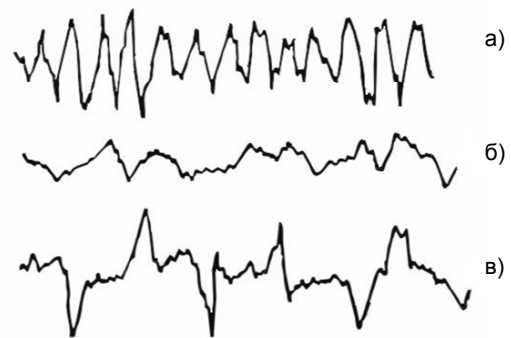


Рис. 5. Залежність форми сигналу вібрації від твердості порід (за Е.Е. Лук'яновим, В.В. Стрельченко) а – м'які породи, б – середньої твердості, в – тверді породи

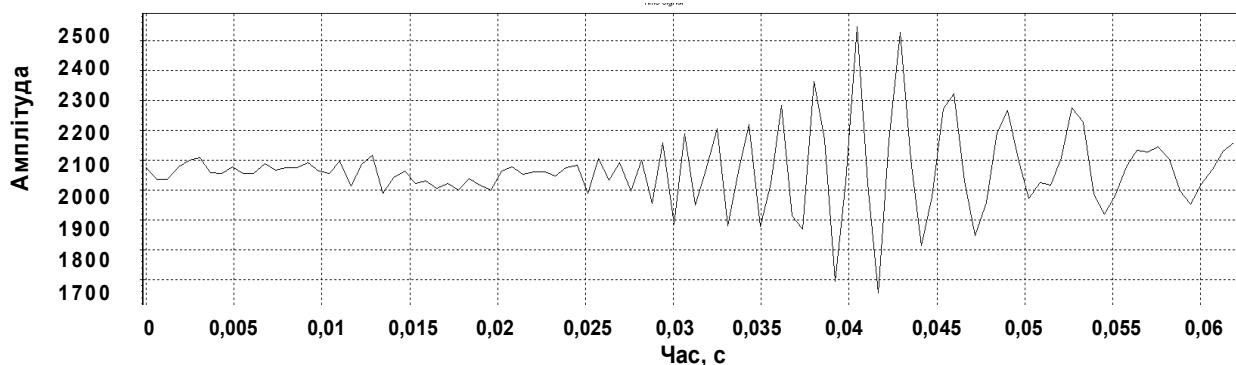


Рис. 6. Форма сигналу від шарошки при бурінні з навантаженням 7 тонн

Висновки. Таким чином, можна стверджувати, що віброакустичний сигнал долота є інформативним джерелом при бурінні свердловин. Отримані в результаті проведених експериментів амплітудно-частотні характеристики віброакустичних коливань дають змогу виокремити із сигналу окремі компоненти, провести на якісному рівні класифікацію пройдених долотом порід на основі їх міц-

нісних характеристик і таким чином створюють передумови для розчленування геологічного розрізу свердловини. Подальші дослідження варто акцентувати на створенні автоматизованої системи класифікації порід за формою сигналу та проведенні вимірювань для різних типів розрізу та використуванням доліт (зокрема, досліджень з алмазним долотом). Важливою задачею є пода-

льша розробка методу ВСП ПБ на основі сумісної реєстрації віброакустичного сигналу модулем "Вібро" та пружних коливань наземною сейсмостанцією. Вирішення значеної проблеми дозволить розширити перелік вирішуваних геолого-геофізичних задач і перейти від досліджень розрізу свердловини до вивчення будови та параметрів навколосвердловинного простору.

1. Ветюков Ю.М. Крутильно-продольные колебания буровой колонны с долотом режущего типа: Дис. к. т. н.: 01.02.06: Санкт-Петербург, 2004. 2. Гогоненков Г.Н., Табаков А.А. Современное состояние и перспективы развития метода ВСП. Мат. конф. "Гальперинские чтения". – М., 2001. 3. Курганский В.Н. Промысловая геофизика как составная часть геоинформационной системы // НТВ "Каротажник".

Тверь. 2005. Вып.130-131. С.135-140. 4. Лукьянов Э.Е., Стрельченко В.В. Геолого-технологические исследования в процессе бурения. – Москва. Нефть и газ. 1997. 5. Малярчук Б.М. Поширення хвиль у бурильній колоні як періодичній структурі. Нафтова та газова промисловість. – 2005. – №2. С. 22-23. 6. Михальцев А.В., Шехтман Г.А., Федотов С.А. Способ обращенного вертикального сейсмического профилирования. Патент Российской Федерации № 2066469. <http://ru-patent.info/20/65-69/2066469.html> 7. Силаев В.А. Скважинная сейсморазведка. Метод глубинного сейсмического торпедирования. – Пермь, – 2002. 8. Шехтман Г.А. Состояние и перспективы развития модификаций метода ВСП. Мат. конф. "Гальперинские чтения". – М., 2001. 9. Poletto F., Miranda F. Seismic While Drilling: Fundamentals of Drill-Bit Seismic for Exploration, Handbook of geophysical exploration, Seismic exploration series, Vol. 35, Elsevier, 2004. 10. Rector J.W., Marion B.P. The use of drill-bit energy as a downhole seismic source // Geophysics, v. 56, N 5, 1991.

Надійшла до редколегії 25.11.09

УДК 550.34

О. Кендзера, канд. фіз.-мат. наук, Ю. Семенова, геофізик I к.

ВРАХУВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ҐРУНТОВОЇ ТОВЩІ ПРИ СЕЙСМІЧНОМУ МІКРОРАЙОНУВАННІ БУДІВЕЛЬНОГО МАЙДАНЧИКА В М. ОДЕСІ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-наук, проф. С.А. Вижвою)

При проектуванні сейсмостійких споруд виникає необхідність оцінити вплив ґрунтових умов на майданчику. В даній роботі для розрахунку впливу локальних інженерно-геологічних умов будівельного майданчика по вул. Французький бульвар 60/1 в м. Одеса, на якому проектується спорудження оздоровчого комплексу, визначалися теоретичні амплітудно-частотні характеристики середовища на основі сейсмогеологічної вертикально-неоднорідної моделі розрізу.

At designing of aseismic buildings there is a necessity of an estimation of influence of soil conditions on site. In this work for calculation of influence of local engineering-geological conditions of a building site along the French boulevard street in Odessa on which the building of an improving complex is projecting, was defined theoretical amplitude-frequency characteristics of environment on the basis of seismogeological vertically-non-uniform model of a cut.

Метою сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків є прогноз поведінки ґрунтів при можливому сильному землетрусі для попередження руйнування будівель і споруд при землетрусах [1, 2]. Незважаючи на велику кількість робіт в цій галузі, прогноз поведінки ґрунтів при сильних сейсмічних впливах залишається однією з найактуальніших проблем сейсмології [3].

Коло задач, що вирішуються при сейсмічному мікрорайонуванні, є досить широким [1, 2]: від дослідження морфологічних особливостей будівельного майданчика, встановлення наявності тектонічних порушень, їх кінематики, наявності сучасної активізації тектонічних структур в межах майданчика і поблизу від нього; сейсмічного профілювання, з метою вивчення внутрішньої будови середовища для застосування методу сейсмічних жорсткостей; дослідження літологічного складу ґрунтів, їх фізичних параметрів, – до вивчення реально спостережених приростів (відносно еталонного пункту) рівня сейсмічних коливань за даними інструментальної реєстрації віддалених та близьких землетрусів, вибухів і мікросейсм.

Відомо, що реакція ґрунту на сейсмічні хвилі різних типів від близьких і віддалених землетрусів є складною [1, 2]. Вона залежить від спектрального складу коливань в сейсмічних хвилях і від трансформуючого впливу середовища під досліджуваним майданчиком. На деяких частотах ґрунтова товща передає коливання майже без змін, а на інших – або підсилює їх, або поглинає. У зв'язку з цим прогнозування резонансних властивостей ґрунтів при розрахунку кількісних параметрів сейсмічних впливів є важливою і актуальною задачею.

Метою роботи є вибір адаптованої до умов України методики визначення амплітудно-частотних характеристик ґрунтової товщі під будівельними майданчиками при сейсмічному мікрорайонуванні.

Під резонансними властивостями ґрунтів розуміють їх здатність до суттєвого підсилення сейсмічних коливань на певних частотах. Амплітудний рівень і частота резонансних піків у спектрах коливань ґрунту залежать від спектру сейсмічних коливань випромінених з вогнища землетрусу, товщини шарів гірських порід під майданчиком, їх пружних і реологічних властивостей.

На рис. 1 зображена показова ілюстрація зміни резонансних властивостей ґрунтів зі зміною потужності рихлих відкладів. З рисунка видно, що зі збільшенням потужності абсолютні максимуми характеристик АЧХ змінюються в область нижчих частот. Амплітудно-частотні характеристики зображені на рис.1 обчислені по алгоритму розрахунку коливань у пружному вертикально-неоднорідному горизонтально-шаруватому середовищі на півпросторі [4].

При вивченні резонансних властивостей ґрунтів необхідно як можна точніше знати швидкість поперечних хвиль в верхніх низькошвидкісних шарах, так як основні, найбільш високі піки на спектральних характеристиках пов'язані з розповсюдженням кратних хвиль саме в таких шарах. Зміна швидкостей поперечних хвиль в розрізі призводить до суттєвої зміни виду спектральних характеристик: змінюються резонансні частоти і амплітуди максимумів [4].

Серйозною проблемою при теоретичному розрахунку АЧХ ґрунтів під досліджуваними майданчиками є оцінка нелінійної поведінки ґрунтів при землетрусах. Розрахунками встановлено, що введення поглинання і нелінійного характеру співвідношень між деформаціями і напруженнями можуть суттєво змінити частотний склад сейсмічного сигналу. Це може бути продемонстровано співставленням на рис. 2 і 3 спектральних кривих трьохшарової товщі ґрунту, розрахованих у припущенні ідеальної пружності середовища (1) і з врахуванням поглинання і нелінійності (2) [5].