

МЕТОД НАКАМУРИ ТА МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ АЧХС

З метою підтвердження можливості використання методу Накамури при дослідженні поверхневих шарів невідомої будови авторами проведено порівняльний аналіз дослідження амплітудно-частотної характеристики середовища (АЧХС) модифікованим методом Накамури та методом скінчених елементів (МСЕ) на структурі з визначеними динамічними характеристиками.

Ключові слова: метод Накамури; метод скінчених елементів; амплітудно-частотна характеристика середовища.

Місцеві геологічні умови безпосередньо впливають на руйнівні наслідки землетрусів. Одним із зручних інструментів для оцінки впливу поверхневої геології на сейсмічні рухи без необхідності використання іншої геологічної інформації є мікросейсмічні методи. Одним з таких методів є метод Накамури H/V або QTS – Quasi-Transfer Spectra метод квазі-передавального спектру, [Nakamura, 1989; Nakamura et al., 2000], який використовують для оцінки динамічних характеристик структури поверхневого шару земної кори. Відносно використання даної методики точаться певні дискусії, але багато успішних експериментальних досліджень, що базувалися на цьому методі підтверджують його ефективність. Метод привабливий, оскільки не вимагає великих затрат на збір даних і може застосовуватися в районах з низькою або навіть без сейсмічної активності.

Автори вирішили порівняти результати симулятивного моделювання хвильового поля методом скінчених елементів і результати обробки реальних сейсмограм методом Накамури по відомих геологічних даних поверхневого шару для підтвердження можливості використання інструментальних методів дослідження територій при невідомій будові середовища.

Оцінка АЧХС проводилася на полігоні біля м. Горішок, дослідження геологічної будови та геофізичних параметрів осадового шару проводилося ЗУГРЕ для пошуку газоносних горизонтів. Розрахунок АЧХС методом математичного моделювання проводився по відомих геологічних даних у даній роботі використовувалося двомірне моделювання. Розрахунок АЧХС методом Накамури проводився на експериментальних даних зареєстрованих сейсмічною станцією DAS-05 із давачами «Вегіка» поблизу пошукової свердловини. Вибір місця для дослідження АЧХС зумовлений вивченою геологічною будовою середовища що відіграє важливу роль при побудові моделі для математичного моделювання.

Метод визначення власних резонансних частот осадової товщі за допомогою відношення спектрів горизонтальної до вертикальної компонент природних шумів був розроблений японським вченим Yutaka NAKAMURA з використанням свердловинних досліджень сильних рухів для різноманітних геологічних умов досліджуваної

ділянки. Він висунув гіпотезу про те, що вертикальна компонента природних шумів геологічного середовища містить характеристику середовища по всьому шляху проходження від джерела до поверхні осадової товщі, з відносним впливом хвиль Релея в осадовій товщі і, тому, може використовуватись для вилучення впливу джерела та ефекту хвиль Релея з горизонтальної компоненти. Це дозволяє визначити власні резонансні частоти осадового шару разом з коефіцієнтами підсилення (тобто, АЧХ), які будуть більш реалістично відображати характеристику середовища, ніж ті, що отримані з відношення характеристик осадової товщі та скальних порід. Як показано роботами багатьох дослідників, методика H/V може успішно використовуватись для визначення власних резонансних частот та коефіцієнтів підсилення осадової товщі. Також в роботі автора методу показано, що максимальні значення відношення спектрів горизонтальної до вертикальної компонент мікросейсм пояснюються багатократними відбиттями SH хвилі.

Максимальні значення QTS відповідають власним частотам першого порядку осадового шару, що виділяються завдяки багатократним відбиттям SH хвилі, і коефіцієнтам підсилення

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h \cdot H_b + H_s}{A_v \cdot V_b + V_s} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[A_h + \frac{H_s}{H_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]}, \quad (1)$$

де A_h і A_v – коефіцієнти підсилення горизонтальної та вертикальної складових вертикально падаючої об'ємної хвилі; H_b і V_b – спектри горизонтальних та вертикальних коливань в основі осадового басейну; H_s і V_s – спектри горизонтальної та вертикальних складових хвиль Релея; H_f , V_f – горизонтальна і вертикальна складові спектрів коливань на поверхні.

Метод скінчених елементів (МСЕ) в задачах моделювання хвильових полів в осадовому шарі земної кори має явну перевагу перед аналітичними методами та багатьма числовими методами. Теорію та конкретні прикладення методу можна зустріти в багатьох працях, узагальнених в монографіях [Еременко, 1991; Zienkiewicz, 2000].

Суть МСЕ полягає в апроксимації неперервних величин, таких як переміщень в нашому випадку, кусково-неперервними функціями, визначеними на скінченній кількості підобластей – елементах, на які умовно поділяється досліджуване середовище. Цими функціями можуть бути поліноми, що визначаються для кожного елемента, зокрема, і підбираються так, щоб зберігалась неперервність апроксимованої ними величини на елементі. В результаті використання МСЕ та числового інтегрування по часу задача розв'язання рівнянь руху зводиться до розв'язання системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР)

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{U}} + \mathbf{K}\mathbf{U} = \mathbf{F} \quad (2)$$

яка розв'язується одним із стандартних методів [Zienkiewicz, 2000]. Як результат отримуємо часову залежність переміщень в будь-якій точці середовища, яку можемо аналізувати.

Обробка модифікованим методом Накамури записаної на полігоні біля м. Городок сейсмограми показана на рис.1.

Характеристики моделі на полігоні, використані для моделювання хвильового поля МСЕ показано на рис.2.

На рис. 3 подано результати обробки методом Накамури змодельованого хвильового поля МСЕ поряд з обробкою методом Накамури реальної сейсмограми.

Проведений кореляційний аналіз показав достатньо високу збіжність результатів математичного моделювання та експериментальних вимірювань.

Зроблені розрахунки і аналіз дозволяють стверджувати що дана модифікація методу Накамури дозволяє проводити інструментальні дослідження АЧХС при малодослідженій з геологічної точки зору будові середовища.

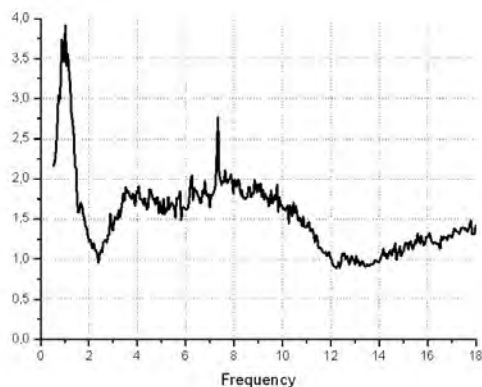


Рис. 1. АЧХ середовища отримана методом Накамури

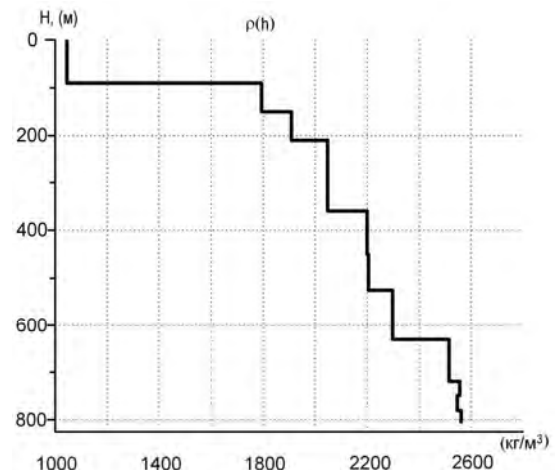


Рис. 2. Модель середовища, яка використовувалася для проведення розрахунків МСЕ

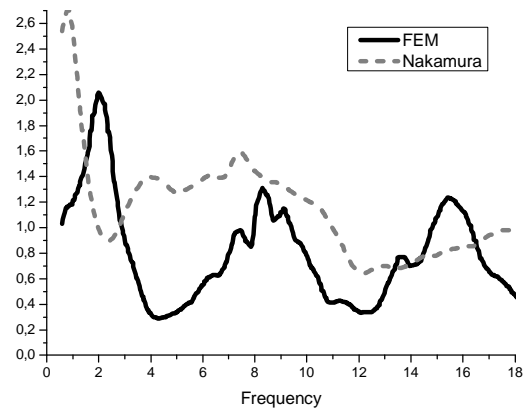


Рис. 3. АЧХ середовища отримані методом Накамури та МСЕ

Література

- Nakamura Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface / Nakamura Y. // Quarterly Report of RTRI, Railway Technical Research Institute (RTRI), 1989, Vol. 30, No.1.
- Vulnerability investigation of Roman Colosseum using microtremor / Nakamura Y., Gurler E. Dilek, Saita J. and oth. // Proceedings, 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ. - pp. 1-8
- Еременко С.Ю. Методы конечных элементов в механике деформируемых тел. / С.Ю.Еременко // – Харьков: Основа, – 1991. – 271 с.
- Zienkiewicz O.C. The finite element method. Fifth edition / O.C. Zienkiewicz, R.L. Taylor // – Oxford. Vol. 1–3. – 2000.

МЕТОД НАКАМУРЫ И МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ АЧХС

С.Т. Вербицкий, Н.И. Рожок, Т.Б. Брыч, Б.Е. Купльовский

С целью подтверждения возможности использования метода Накамуры для исследования поверхностных слоев неизвестного строения авторами проведен сравнительный анализ исследования амплитудно-частотной характеристики среды (АЧХС) модифицированным методом Накамуры и методом конечных элементов на структуре с известными динамическими параметрами.

Ключевые слова: метод Накамуры; метод конечных элементов; амплитудно-частотная характеристика среды.

NAKAMURA'S TECHNIQUE AND FINITE ELEMENT METHOD IN SOLID AMPLITUDE-FREQUENCY RESPONSE INVESTIGATION

S. Verbitsky, N.Rozhok, T.Brych, B.Kupljovskyj

In order to confirm the possibility of using the method of Nakamura in the study of surface layers of unknown structure, the authors carried out a comparative analysis of solid amplitude-frequency response research by both of modified Nakamura's technique and finite element method on the estimating dynamic characteristics of surface layers.

Key words: Nakamura's technique; finite element method; solid amplitude-frequency response.

Відділ сейсмічності Карпатського регіону ІГФ НАН України, м. Львів