

ГЕОФІЗИКА

УДК 622.245.1

Сергій ВЕРБИЦЬКИЙ¹, Богдан КУПЛЬОВСЬКИЙ¹, Василь ПРОКОПИШИН¹,
Олександр СТЕЦЬКІВ¹, Ірина НІЦІМЕНКО¹, Тарас БРИЧ¹, Олег КРУК²

¹ Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, вул. Ярославенка, 27, Львів, 79011, Україна, тел. +38(032)2706100, ел. пошта: sergever@gmail.com, bohdan_kuplyovsky@yahoo.com, pvasyl70@gmail.com, alexste0@gmail.com, iranlviv@gmail.com, taras_brych@hotmail.com

² Кафедра програмного забезпечення Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, Львів, 79013, Україна, ел. пошта: olehkruk@gmail.com

<https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.058>

РОЗРАХУНОК ПРИРОСТІВ ІНТЕНСИВНОСТІ СЕЙСМІЧНИХ СТРУШУВАНЬ МЕТОДОМ РЕЄСТРАЦІЇ ВИСОКОЧАСТОТНИХ МІКРОСЕЙСМ (НА ПРИКЛАДІ МАЙДАНЧИКА ЗАБУДОВИ В М. УЖГОРОД)

Мета. Отримати уточнені параметри сейсмічної небезпеки майданчика під реконструкцію з розширенням заводу по виробництву компонентів для електронної промисловості методом реєстрації високочастотних мікросейсмів. Дати кількісну оцінку розрахункової інтенсивності сейсмічних струшувань (в балах шкали MSK-64) з урахуванням ефектів, пов'язаних з локальними інженерно-геологічними умовами досліджуваного майданчика. Методика. Виконання практичних робіт з сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків передбачає використання методу реєстрації короткоперіодних мікросейсм, який вважається одним з найбільш ефективних і об'єктивних інструментальних методів СМР при малих термінах проведення польових сейсмологічних досліджень. Застосування методу ґрунтується на порівнянні параметрів мікроколиваний ґрунтів, які збуджуються джерелами природного і техногенного походження на досліджуваній і еталонній ділянках. Ґрунт при цьому розглядається як фільтр, який може змінювати амплітудний і фазовий спектри коливаний в сейсмічних хвилях, падаючих на підшву осадового чохла. Прирости сейсмічної інтенсивності визначаються за результатами порівняння амплітуд коливаний ґрунтів в пунктах реєстрації на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті. Запис мікросейсм виконувався двома ідентичними триканальними цифровими сейсмічними станціями DAS-05, найновішими з модельного ряду автоматичних сейсмостанцій, розроблених в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. У якості сейсмоприймачів використовувалися сейсмометри «ВЕГІК». Результати. Аналіз записів мікросейсмічних коливаний показав, що основний внесок у формування хвильового поля вносять коливання обумовлені міськими фоновими завадами в діапазоні частот $f = 8,0 - 18,0$ Гц, а також низькочастотними природними океанічними впливами $f = 0,4 - 8,0$ Гц, високочастотні коливання обумовлені техногенними чинниками $f = 18,0 - 27,0$ Гц (рис. 3). Матеріали синхронних цілодобових реєстрацій мікросейсм свідчать про досить високу стабільність амплітудного рівня і частотного складу мікросейсмічних коливаний, що дозволяє зробити висновок про близькість мікросейсмічного процесу до стаціонарного, при умові усунення з записів нестационарних подій. Графіки значень приросту сейсмічної інтенсивності на різних частотах за рахунок ґрунтових умов досліджуваного майданчика, встановлені за співвідношенням усереднених амплітудних спектрів мікросейсм на ньому і на еталонному пункті, показано на рис. 4. Середні в частотному діапазоні 0.1 - 20.0 Гц оцінки приростів сейсмічної інтенсивності для ґрунтових умов будівельного майданчика, отримані по відношенню спектральних густин мікросейсм на всіх трьох складових коливаний, представлені в таблиці 1. Приріст сейсмічної бальності, відносно початкової (фонові), для інженерно-геологічних умов ділянки складає: $\Delta I_r = -0,21$ бала. Наукова новизна. За співвідношенням амплітуд і амплітудних спектрів мікросейсм, зареєстрованих на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті отримані уточнені параметри сейсмічної небезпеки майданчика забудови, які враховують вплив локальних ґрунтових умов. Дана кількісна оцінка розрахункової інтенсивності сейсмічних струшувань (в балах шкали MSK-64) з урахуванням ефектів, пов'язаних з локальними інженерно-геологічними умовами досліджуваного майданчика. Практична значимість. СМР майданчиків будівництва дає уточнені значення сейсмічних впливів відносно загального сейсмічного

районування країни, що дозволяє на етапі проектування сейсмостійкого будівництва враховувати можливий приріст сейсмічної бальності. Врахування результатів СМР при будівництві інженерних конструкцій дозволяє уникнути людських жертв і зменшити економічні втрати при сейсмічних проявах.

Ключові слова: сейсмічне мікрорайонування (СМР), метод реєстрації високочастотних мікросейсм, сейсмічна інтенсивність, сейсмічна небезпека, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ).

Вступ

Тривалим досвідом сейсмологічних досліджень доведено, що місцеві геологічні умови є вирішальним чинником щодо масштабів і обсягу руйнувань, спричинених землетрусами. Необхідність врахування цих умов при оцінюванні сейсмічної небезпеки та параметрів можливого сейсмічного впливу є цілком очевидною навіть коли йдеться про окремі будівельні майданчики і споруди – адже доволі часто трапляються випадки повного руйнування одного будинку, розташованого зовсім поряд з іншим, такого самого запасу міцності але повністю уцілілим. [Кендзера, 2015; Купльовський, 2018].

До сімдесятих років минулого століття вважалося, що основну небезпеку на території України викликають лише сильні підкорові землетруси зони Вранча. Локальну сейсмічність практично не вивчали. Сейсмічна мережа була не достатньою для визначення не лише положення вогнищ слабких місцевих землетрусів, але й встановлення їхнього механізму. Останнім часом, кількість сейсмічних станцій зростає. Результати вивчення локальної сейсмічності на території Східноєвропейської платформи підтвердили, що у її межах на ній, так само як і на інших древніх платформах, можуть відбуватися потужні землетруси, хоча і набагато рідше, ніж в сейсмічних поясах планети. [Кутас, 2007]

Встановлено, що сейсмічна небезпека будівельного майданчика визначається сильними підкоровими землетрусами сейсмоактивної зони Вранча, розташованої в зоні зчленування Східних і Південних Карпат, з Передкарпатським прогином на території Румунії, а також «місцевими» землетрусами, які можуть відбуватися в безпосередній близькості від досліджуваної ділянки і пов'язані з тектонічними порушеннями Східноєвропейської платформи. Для визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки досліджуваного майданчика виконано розрахунок значення уточненої інтенсивності сейсмічних струшувань (з точністю до 0.01 бала), при землетрусах із зони Вранча (Румунія) і землетрусах з місцевих потенційних сейсмоактивних зон [Kuplovskiy, 2020].

Згідно карт загального сейсмічного районування території України – ЗСР-2004-С, які є складовою частиною ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України», нормативна бальність, віднесена до «середніх» ґрунтових умов території м. Ужгород (II-ї категорії), становить $I_0 = 8$ балів для періоду повторення $T = 5000$ років і ймовірності $P = 99\%$ неперевіщення зазначеної інтен-

сивності в найближчі 50 років (карта ЗСР-2004-С). [DBN В.1.1-12: 2014..., 2014]. Фонова інтенсивність I_0 вказана для ґрунтів II-ї категорії за сейсмічними властивостями. В даній роботі буде виконано уточнення сейсмічної активності з врахуванням ґрунтових умов на майданчику, методом за вимогами ДБН В.1.1-12:2014 – методом реєстрації високочастотних мікросейсм.

Мета

Отримати уточненні параметри сейсмічної небезпеки майданчика під реконструкцію з розширенням заводу по виробництву компонентів для електронної промисловості методом реєстрації високочастотних мікросейсмів. Дати кількісну оцінку розрахункової інтенсивності сейсмічних струшувань (в балах шкали MSK-64) з урахуванням ефектів, пов'язаних з локальними інженерно-геологічними умовами досліджуваного майданчика.

Методика

Виконання практичних робіт з сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків передбачає використання методу реєстрації короткоперіодних мікросейсм [DBN В.1.1-12: 2014..., 2014; RSN 60-86, 1986; RSN 65-87, 1987], який вважається одним з найбільш ефективних і об'єктивних інструментальних методів СМР при малих термінах проведення польових сейсмологічних досліджень. Застосування методу ґрунтується на порівнянні параметрів мікроколиваний ґрунтів, які збуджуються джерелами природного і техногенного походження на досліджуваній і еталонній ділянках. Ґрунт при цьому розглядається як фільтр, який може змінювати амплітудний і фазовий спектри коливаний в сейсмічних хвилях, падаючих на підшву осадового чохла. Прирости сейсмічної інтенсивності визначаються за результатами порівняння амплітуд коливаний ґрунтів в пунктах реєстрації на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті.

Апаратура і методика польових спостережень

Запис мікросейсм виконувався двома ідентичними триканальними цифровими сейсмічними станціями DAS-05, найновішими з модельного ряду автоматичних сейсмостанцій, розроблених в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України [Вербіцький та ін., 2006]. У якості сейсмодатчиків використовувалися сейсмометри «ВЕГК».

- Сейсмічна станція DAS-05 забезпечує:
- реєстрацію повного вектора сейсмічних коливань в динамічному діапазоні 140 дБ;
 - частоту реєстрації вимірюваної інформації в межах 0.012-100 Гц;
 - термін автономної роботи апаратури від акумуляторних батарей не менше 24 годин;
 - калібрування сейсмічних каналів, яке дозволяє визначати амплітудну і фазову частотні характеристики сейсмічних каналів з точністю до 5 % в частотному діапазоні 0.01-50 Гц.

Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики (ЧХ) вимірювальних каналів наведені на рис. 1. Вони визначені за допомогою спеціальної віброплатформи. Стабільність ЧХ контролюється за допомогою запису реакції реєструючого тракту на спеціальний калібрувальний імпульс, який подається в котушку сейсмічного приймача [Oppenheim, & Willsky, 1983], моделюючи прискорення коливань основи сейсмічного приймача (“грунту”).

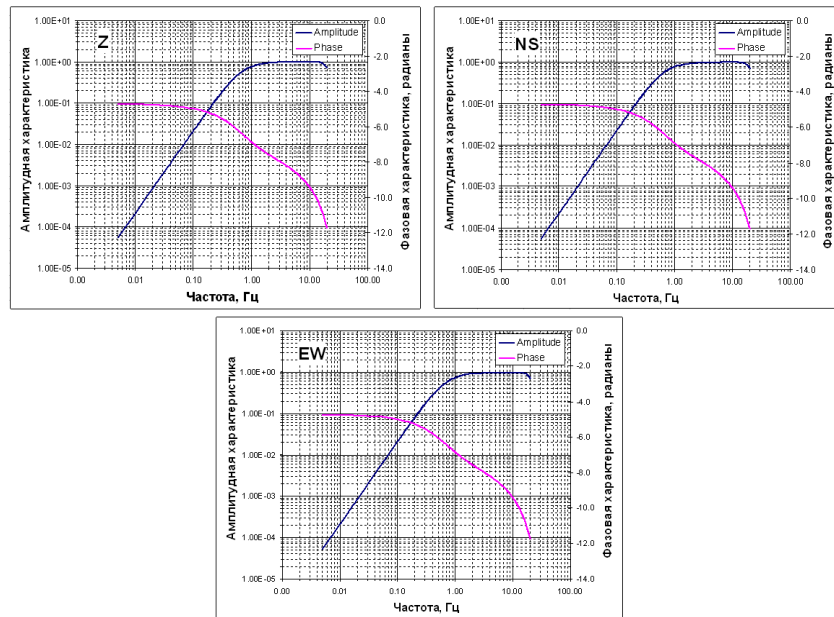


Рис. 1. Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики вертикального (Z) і двох горизонтальних (NS і EW) вимірювальних каналів DAS-05.

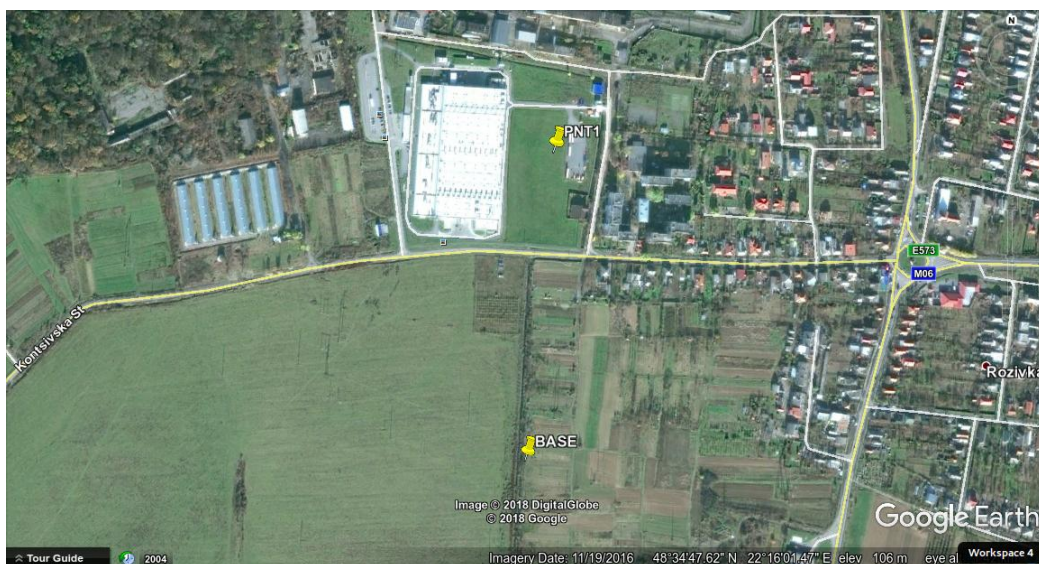


Рис. 2. Місце розташування еталонного пункту (BASE), ґрунти якого за сейсмічними властивостями відносяться до 2-ї категорії.

PNT1 – пункт розташування сейсмічної апаратури для проведення довготривалих спостережень за сейсмічними коливаннями для СМР майданчика методом реєстрації землетрусів, вибухів і високочастотних мікросейсм.

З комплексної ЧХ для прискорення $B_v(s)$, де $s = j*\omega$, $j = \sqrt{-1}$, ω - кутова частота, $\omega = 2*\pi*f$, де f - циклічна частота, легко визначити частотні характеристики для зміщення - $D_v(s)$ і швидкості - $H_v(s)$:

$$D_v(s) = B_v(s)/s, \quad H_v(s) = B_v(s)/s.$$

У зв'язку з відсутністю попередніх даних про варіації просторово-часових характеристик поля мікросейсм на території досліджуваного майданчика на етапі рекогносцировки з'ясувалися умови забезпечення максимально можливої відповідності спостережень стандартним вимогам. З цією метою на будівельному майданчику і на еталонному пункті, розташованому максимально близько від досліджуваного майданчика (див. рис. 2), ґрунти яких відповідають 2-й категорії за сейсмічними властивостями, відповідно, проведено тривалі записи короткоперіодних мікросейсмічних коливань.

Вибір еталонного ґрунту

Відповідно до РСН-60-86, [РСН 60-86, 1986] для оцінки приросту сейсмічності необхідно вибрати еталонний ґрунт, близький за сейсмічними властивостями до ґрунту 2-ої категорії, до яких відноситься уточнене значення оцінки сейсмічної небезпеки території досліджуваного майданчика. Параметри еталонного ґрунту необхідні для СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей і методом реєстрації короткоперіодних мікросейсм.

За результатами аналізу даних інженерно-геологічних вишукувань та натурних інженерно-геологічних випробувань зразків ґрунтів визначено пункт з еталонним ґрунтом, який розташований поза межами майданчика в межах цокольної тераси р. Уж,

де на поверхню виходять вивітрілі породи кристалічного фундаменту (рис 2). [Kuplovskiy, 2020].

Результати

При проведенні польових робіт, реєстрація мікросейсм виконувалася на еталонній ділянці з ґрунтами 2-ї категорії за сейсмічними властивостями (Еталонний пункт), розташованій поза межами досліджуваного будівельного майданчика, а також на одному пункті на самому майданчику.

При визначенні приростів сейсмічної інтенсивності на різних пунктах досліджуваного майданчика, відносно еталонного, враховуючи досвід подібних досліджень [Кендзера та ін., 1989], використовувалися тривалі за часом (2-8 годин) вечірні і нічні синхронні записи мікросейсм на еталонному пункті і пунктах на досліджуваному майданчику зроблені сейсмостанціями DAS-05. Вибір нічного часу спостережень обумовлено відносною стабільністю амплітудно-частотного складу мікросейсм і мінімальним рівнем техногенних перешкод у вечірній і нічний час. Спектр мікросейсм на майданчику і еталонному пункті достатньо повно охоплював весь характерний діапазон частот, що дозволяло отримати надійні значення відносної (відносно еталонної ділянки) частотної характеристики пункту спостережень на майданчику. Характерні піки амплітудного спектру Фур'є записів мікросейсм, які можна побачити на рис. 3, відповідають переважаючим періодам коливань ґрунтів майданчика в пункті реєстрації.

Результати спостережень за високочастотними мікросейсмами виявилися близькими за величиною і спектральним складом на усіх пунктах спостережень.

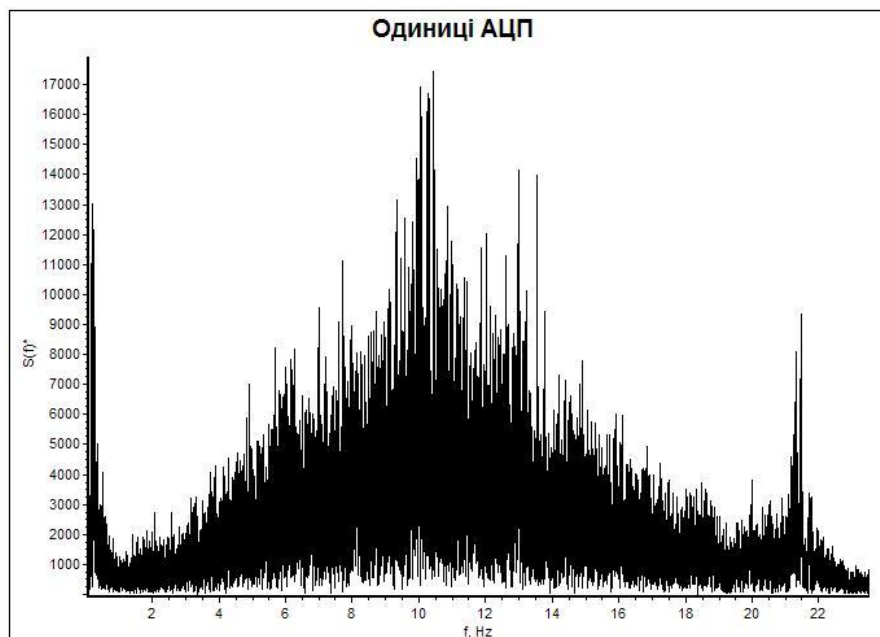


Рис. 3. Приклад спектра запису EW-складової мікросейсм тривалістю 2 години будівельному майданчику

Аналіз записів мікросейсмічних коливань показав, що основний внесок у формування хвильового поля вносять коливання обумовлені міськими фоновими завадами в діапазоні частот $f = 8,0\text{--}18,0$ Гц, а також низькочастотними природними океанічними впливами $f = 0,4\text{--}8,0$ Гц, високочастотні коливання обумовлені техногенними чинниками $f = 18,0\text{--}27,0$ Гц (рис. 3). Матеріали синхронних цілодобових реєстрацій мікросейсм свідчать про досить високу стабільність амплітудного рівня і частотного складу мікросейсмічних коливань, що дозволяє зробити висновок про близькість мікросейсмічного процесу до стаціонарного, при умові усунення з записів нестационарних подій.

Приріст сейсмічної інтенсивності за співвідношенням амплітуд і амплітудних спектрів мікросейсм, зареєстрованих на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті

Приріст сейсмічної інтенсивності (ΔI_r), одержаний методом реєстрації короткоперіодних мікросейсм, оцінювався за відношенням амплітудних спектрів мікросейсм, зареєстрованих на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті.

При визначенні ΔI_r цим способом, для кожної компоненти запису і кожного пункту спостережень, обчислювальною програмою, яка реалізує алгоритм швидкого перетворення Фур'є, розраховувалися амплітудні спектри, за якими оцінювалися відносні частотні характеристики і прирости сейсмічної інтенсивності.

У роботах [Кендзера та ін., 1989] показано, що для отримання стійкого результату необхідно спочатку по набору індивідуальних спектрів синхронних записів побудувати згладжені усереднені спектри коливань в пунктах, що вивчаються, і на еталонному пункті, а потім, в результаті ділення спектрів, одержати відповідні значення відносних частотних характеристик.

Відносна амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) ґрунтів для даного пункту визначалася як результат ділення усередненого по декількох записах спектру коливань в досліджуваному пункті на усереднений спектр запису коливань в еталонному пункті.

Результати розрахунку відносних амплітудно-частотних характеристик ґрунтів використовувалися для оцінки приростів сейсмічної інтенсивності по формулі [RSN 60-86, 1986]:

$$\Delta I_r = 2 \lg (S_i(\omega) / S_{em}(\omega)),$$

де $S_{em}(\omega)$ і $S_i(\omega)$ – амплітудні спектри Фур'є мікросейсм на різних компонентах їх записів на еталонному пункті і на досліджуваному майданчику.

Графіки значень приросту сейсмічної інтенсивності на різних частотах за рахунок ґрунтових умов досліджуваного майданчика, встановлені за співвідношенням усереднених амплітудних спектрів мікросейсм на ньому і на еталонному пункті, показано на рис. 4.

Середні в частотному діапазоні 0.1-20.0 Гц оцінки приростів сейсмічної інтенсивності для

ґрунтових умов будівельного майданчика, отримані по відношенню спектральних густин мікросейсм на всіх трьох складових коливань, представлені в табл. 1. Значення ΔI_r розраховувались за співвідношенням:

$$\Delta I_r = \sqrt{\frac{1}{3}(\Delta I_{EW}^2 + \Delta I_{NS}^2 + \Delta I_Z^2)}.$$

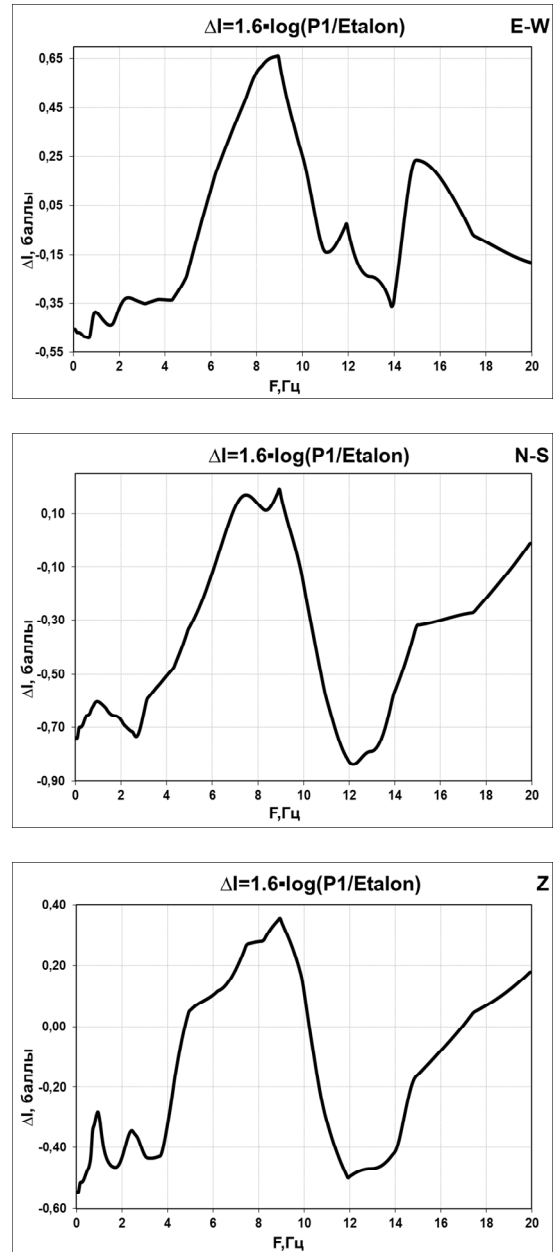


Рис. 4. Графіки розподілу по частоті $F = \omega/2\pi$ приросту (відносно еталонного пункту) сейсмічної інтенсивності на будівельному майданчику в балах шкали MSK-64 на складових коливань: -EW, -NS, -Z.

Середній приріст сейсмічної бальності, відносно початкової (фонові), розрахований за методом реєстрації мікросейсм з використанням даного способу для інженерно-геологічних умов ділянки складає: $\Delta I_r = -0,21$ бала.

Таблиця 1

**Приріст сейсмічної інтенсивності за методом
реєстрації мікросейсм**

Середнє значення приросту сейсмічної інтенсивності в балах по складових коливань:			ΔI_r
EW	NS	Z	
-0.03	-0.35	-0.12	-0.21

Наукова новизна і практична значущість

За співвідношенням амплітуд і амплітудних спектрів мікросейсм, зареєстрованих на різних ділянках майданчика і на еталонному пункті отримані уточнені параметри сейсмічної небезпеки майданчика забудови, які враховують вплив локальних ґрунтових умов.

Дана кількісна оцінка розрахункової інтенсивності сейсмічних струшувань (в балах шкали MSK-64) з урахуванням ефектів, пов'язаних з локальними інженерно-геологічними умовами досліджуваного майданчика.

СМР майданчиків будівництва дає уточнені значення сейсмічних впливів відносно загального сейсмічного районування країни, що дозволяє на етапі проектування сейсмостійкого будівництва враховувати точніші величини сейсмічних проявів. Врахування результатів СМР при будівництві інженерних конструкцій дозволяє уникнути людських жертв і зменшити економічні втрати для регіону при сейсмічних струшуваннях.

Висновки

Згідно карти ЗСР-2004-С нормативна (фонова або вхідна) інтенсивність сейсмічних струшувань будівельного майданчика дорівнює $I_N = 8$ балів за шкалою MSK-64. Землетруси з такою інтенсивністю на території м. Ужгород можуть відбуватися 1 раз в 5000 років (сейсмічний ризик 1%). Інтенсивність сейсмічних струшувань 8 балів з імовірністю 99% не буде перевищена за найближчі 50 років.

Аналіз результатів інструментальних робіт з сейсмічного мікрорайонування показав, що приріст сейсмічної інтенсивності (бальності) – ΔI_r , відносно нормативної (фонові), для локальних інженерно-геологічних умов досліджуваного майданчика є наступним: $\Delta I_r = -0,21$ бала.

Значення оцінки I повинно заокруглюватися до цілого числа, так як чинний ДБН В.1.1-12:2014 не передбачає дробових значень сейсмічної бальності, що визначається Макросейсмічною шкалою ДСТУ-Б-В.1.1-28 2010 «Шкала сейсмічної інтенсивності», MSK-64 і її пізнішими модифікаціями, в т.ч. і Європейською макросейсмічною шкалою EMS-98. [Шкала сейсмічної інтенсивності..., 2011] Отже, розрахункове значення сейсмічної інтен-

сивності для досліджуваного майданчика з урахуванням впливу локальних ґрунтових умов складає $I = 8$ балів за шкалою MSK-64 з допустимим сейсмічним ризиком – 1 % (період повторюваності землетрусу 5000 років).

Список літератури

Кендзера О. В., Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів (практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України). *Вісник Національної академії наук України*. 2015. № 2. С. 44-57. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vnanu_2015_2_10.pdf.

Купльовський Б. Є., Брич Т. Б. Порівняння спектральних характеристик приповерхневих шарів під сейсмічними станціями «Тросник», «Ужгород», «Міжгір'я», розрахованих методом скінченних елементів, з експериментальними. *Геофізичний журнал*. Том 40, № 6, 2018, С. 115-126.

Кутас В. В., Омельченко В. Д., Кендзера А. В., Дрогицькая Г. М., Калитова А. И. Сейсмичность западной части Восточно-Европейской платформы в пределах Украины. *Геофизический журнал*. Том 29, № 5, 2007.

Kuplovskiy, B., Bubniak, I., Voloshyn, P., Pavlyuk, O., Kruk, O., & Trevoho, I. (2020). Influence of local seismotectonic and engineering-geological conditions on seismic danger of territories (exemplified by a construction site in Uzhgorod city). *Geodynamics*, 28(1), 29-37.

ДБН В.1.1-12:2014. Державні будівельні норми України. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. 110 с

РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Нормы производства работ. М: Госстрой РСФСР, 1986. 17 с.

РСН 65-87. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. Технические требования к производству работ. М: Госстрой РСФСР, 1987. 12 с.

Вербицький С. Т., Сапужак І. Я., Стасюк А. Ф., Вербицький Ю. Т. Апаратно-програмний комплекс DAS-04 для моніторингу небезпечних геодинамічних процесів та природних явищ. Матер. Всеукр. наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". К., ВПЦ "Київський університет", 2006. С. 159-161

Oppenheim, A. V. & Willsky, A. S. (1983). Signals and Systems. Prentice Hall, New Jersey, USA

Кендзера А. В., Скляр А. М., Роман А. А. и др. О возможности использования эмпирических передаточных функций среды при микрорайонировании территории со сложным геологическим строением. Оценка эффекта сильных землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 30. М. Наука. 1989

Кендзера А. В., Стародуб Г. Р., Скляр А. М., Роман А. А. Некоторые аспекты сейсмического районирования малоактивных территорий. Исследование сейсмического грунта и движения конструкций. Москва: МГК Пресса Президиума Акад. наук СССР. 1989. 76-82. (Сейсмические исследования, 11).

ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010. Державний стандарт України: "Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Шкала сейсмічної інтенсивності", чинний на території України згідно наказу Мінрегіонбуду України від 23 грудня 2010 р. N 539 з 2011 р.

Шкала сейсмічної інтенсивності: ДСТУБВ.1.1-28:2010. К.: Мінрегіонбуд України, 2011. 47 с.

Serhii VERBYTSKYI^{1a}, Bohdan KUPLOVSKYI¹ⁿ, Vasylyl PROKOPYSHYN^{1c}, Oleksandr STETSKIV^{1d}, Iryna NISHCHIMENKO^{1e}, Taras BRYCH^{1f}, Oleh KRUK²

¹ Department of Seismicity of the Carpathian Region at S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 27, Yaroslavenka Str., Lviv, 79011, Ukraine, tel.: +38(032)2706100, ORCID^{1a}: <https://orcid.org/0000-0003-1138-8648>, ORCID^{1b}: <https://orcid.org/0000-0002-4221-5224>, ORCID^{1c}: <https://orcid.org/0000-0003-2600-8767>, ORCID^{1d}: <https://orcid.org/0000-0002-8414-7098>, ORCID^{1e}: <https://orcid.org/0000-0003-4478-8875>, ORCID^{1f}: <https://orcid.org/0000-0001-6853-1981>, e-mail: sergever@gmail.com, bohdan_kuplyovsky@yahoo.com, pvasyly70@gmail.com, alexste0@gmail.com, iranlviv@gmail.com, taras_brych@hotmail.com

² Department of Software, Lviv Polytechnic National University, 12, Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine, ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-6431-1287>, e-mail: olehkruk@gmail.com

EVALUATION OF SEISMIC SHAKING INTENSITY GAINS BY HIGH FREQUENCY MICROSEISM REGISTRATION METHOD (AS EXEMPLIFIED BY A DEVELOPABLE SITE IN UZHGOROD)

Objective. To refine seismic hazard parameters by registering high-frequency microseisms within the site under reconstruction in connection with the land plot enlargement of a plant intended for electronic components manufacturing. To quantify the estimated intensity of seismic shakings (in MSK-64 scale scores) accounting for the effects associated with local engineering and geological conditions at the study site. **Methods.** Seismic microzonation practical works at construction sites implies the application of short-period microseism registration method, which is considered to be one of the most efficient and unbiased instrumental SMZ methods when the field seismological studies are to be performed in a short period of time. The method relies on comparing parameters of soil microvibrations generated by natural and anthropogenic sources at the studied and the reference sites. At that, the soil is regarded as a filter capable of modifying the amplitude and phase oscillation spectra of seismic waves hitting the sedimentary cover basement. The seismic intensity gains were determined by comparing the amplitudes of soil oscillations at registration points over several sections of the site and at a reference point. Microseisms were recorded by using two identical three-channel digital seismic stations DAS-05 being the newest ones out of the model series of automatic seismic stations developed at S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine. VEGIK seismometers were used as seismometers. **Results.** Microseismic oscillation recording analysis has revealed that the main contribution to the formation of a wave field is due to the urban background disturbances falling within the frequency range of $f = 8.0 - 18.0$ Hz, as well as low-frequency natural oceanic effects amounting to $f = 0.4 - 8.0$ Hz while high-frequency vibrations are caused by anthropogenic factors amounting to $f = 18.0 - 27.0$ Hz (Fig. 3). Data of synchronous 24-hour microseism registering have indicated a sufficiently high stability of the amplitude level and frequency composition of microseismic oscillations, which suggests that the microseismic processes approximate stationary ones, provided that non-stationary events are removed from records. Plots of seismic intensity gain values at different frequencies caused by soil conditions at the studied site, determined according to the relation of averaged microseismic amplitude spectra both at the studied and reference site, are shown in Fig. 4. The average estimates of seismic intensity gains in the frequency range of 0.1 - 20.0 Hz for the construction site soil conditions, calculated with respect to microseismic spectral densities per all three vibration components, are presented in Table 1. The seismic intensity gain in relation to the initial (background) one for the engineering and geological conditions of the site equals to $\Delta I_r = -0.2I$. **Scientific novelty.** Given the amplitude ratio and amplitude spectra of microseisms recorded at different sites and at the reference point, refined parameters of seismic hazards for the developable site have been obtained with consideration of the local soil conditions effects. Evaluation ratings of seismic shaking calculated intensity (in MSK-64 scale scores) based on effects associated with the local engineering and geological conditions of the study site have been provided. **Practical significance.** Construction site SMZ yields updated values of seismic forces relative to the general seismic zonation of the country, which allows taking into account possible gain in seismic severity at the design stage of earthquake-proof construction. Consideration of SMZ results at construction of engineering structures prevents human casualties and reduces economic losses in case of seismic manifestations.

Key words: seismic microzonation (SMZ), high frequency microseism registration method, seismic intensity, seismic hazard, amplitude-frequency response (AFR).

Надійшла 22.03.2021 р.