

УДК 550.34

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.99.03>

С. Кравець, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.,

E-mail: sergek@cb-igph.lviv.ua;

Д. Малицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

E-mail: dmytro.malitsky@gmail.com;

О. Асташкіна, канд. геол. наук, наук. співроб.,

E-mail: sac1@ukr.net;Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,
відділ Методів сейсмотектонічних досліджень,
вул. Наукова 36, м. Львів, 79060, Україна

АКТУАЛЬНІ ПІДХОДИ ДО АДАПТАЦІЇ СЕЙСМІЧНИХ ДАТЧИКІВ ДЛЯ ТЕХНОГЕННО НАВАНТАЖЕНИХ ТЕРИТОРІЙ

*(представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С. А. Вижвою)**Висвітлено експериментально перевірену методику корегування діапазону частот, амплітуд і рівня шуму для сейсмічних датчиків.**Підвищення рівня чутливості системи реєстрації у визначеному діапазоні частот дозволяє гнучко й у короткий термін досліджувати приуроченість мікроземлетрусів до різномасштабних геологічних структур і оцінювати параметри сейсмічного режиму, контролювати розвиток природних карстових явищ і техногенних тріщин та деформацій.**Представлено метод розширення меж застосування сейсmodатчиків типу СМ-3 та СМ-3 КВ у складі сейсмічних каналів портативних сейсмічних станцій, які застосовуються в Україні для розв'язання низки задач сейсмології у техногенно навантажених регіонах із високим рівнем промислових середньодобових шумових компонент.**Як приклад наведено деякі результати реєстрації сейсмічних сигналів, виконаної системою збирання інформації з використанням додаткових коректованих сейсмічних датчиків СМ-3 із розширеним частотним діапазоном у низькочастотну область спектра в діапазоні 0,1–3 Гц, проведеної на станції Carp-Lviv-2.**Ключові слова: сейсмічна подія, інженерно-геофізичні дослідження, спектрально-часовий аналіз, сейсмічний моніторинг, тимчасовий пункт сейсмічних спостережень.*

Постановка проблеми. Сейсмонезбезпечні райони із прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6–9 балів становлять близько 20 % території України (~120 тис. км²) з населенням понад 10 млн людей. Райони із прогнозованою інтенсивністю 7–9 балів становлять 12 % території країни, в них розташовано майже 80 населених пунктів, у яких проживають 7 млн людей. Загалом до 40 % території України може бути охоплено безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій і до 70 % – спільним впливом землетрусів і підтоплення, зсувів, осідань та інших інженерно-геологічних процесів, які негативно впливають на стійкість споруд (Немчинов та ін., 2013) і можуть призвести до загибелі людей.

Попередження і захист від небезпечних природних та природно-техногенних процесів можливі лише за наявності системи моніторингу геологічних полів, яка дозволяла б оцінити стан і зміни геологічного середовища в режимі реального часу.

Всебічне вивчення динаміки хвильових полів у взаємозв'язку із природними та техногенними процесами становить інтерес щодо оцінювання можливості та надійності передбачення майбутніх сейсмічних подій. Якісний аналіз просторово-часових змін прогностичних параметрів буде вдалим, якщо застосовувати надійні широкопasmові системи моніторингу. На сьогоднішній день загальносвітова практика сейсмологічних спостережень для успішного розв'язання наукових завдань, особливо в сейсмоактивних регіонах, полягає у різкому збільшенні кількості стаціонарних і провізорських сейсmostанцій та їхнього оснащення широкопasmовою високочутливою апаратурою. Однак такий підхід вимагає настільки величезних фінансових витрат, що найближчим часом подібні проекти в Україні важко здійснити.

У відділі методів сейсмотектонічних досліджень КВ ІГФ ім. С. І. Субботіна НАН України апробовано метод розширення меж застосування поширених сейсmodатчиків типу СМ-3 та (СМ-3 КВ) у складі сейсмічних каналів портативних сейсмічних станцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зазначити надзвичайно обмежену кількість публікацій, присвячених розглядуваній тематиці, із прикладами застосування методів частотного корегування АЧХ приладів (Рыков, 1963, 1972; Al-Alaoui, 2001).

Виділення нерозв'язаних раніше аспектів загальної проблеми. Хоча методика корегування хвильових форм відома (Al-Alaoui, 2001), застосування її для сейсмічних датчиків у різних діапазонах частот, амплітуд та рівнів шуму практично не обговорювалося і не перевірялося експериментально.

Мета – побудова та застосування системи збирання і передавання даних комплексних геофізичних спостережень із контролем метеопараметрів, що включає системи збереження акустичних сейсмічних сигналів із додатковим коректуванням каналом для передбачення можливого виникнення неприпустимих вібрацій і пульсацій на нижній границі сейсмічного діапазону та оцінювання зміни характеристик геологічного середовища під впливом сейсмічних коливань як від віддалених землетрусів, так і від промислових джерел.

Фізико-геологічні передумови застосування методів частотного корегування АЧХ сейсmodатчиків. Верхні оболонки земної кори необхідно розглядати як складнопобудовані шари, наповнені дискретною системою блоків, між якими є з'єднувальні або контактні прошарки з менш консолідованого матеріалу, на яких проходять розломи і тріщини і вздовж яких може відбуватися відносний рух цих блоків. Ці коливальні рухи блоків на границях можна розглянути за аналогією коливання маси, підвішеної на пружині. Для побудови й дослідження такої моделі та розв'язання конкретних задач необхідно знати параметри коливальної системи, а також дискретний розмір обмеженого блока і пористість матеріалу на його контактних границях, тобто довжину розлому L у кілометрах та пружність у МПа/м. Відповідно до найпростішої моделі "маса на пружині" коливання блока розміром $A \times B \times V$ на межі із твердістю N можна описати власною частотою коливань T . Для блоків із

© Кравець С., Малицький Д., Асташкіна О., 2022

характерним розміром $B = 10$ км можна передбачити характерні періоди коливань у десятки секунд ($T = 1/f$) або $\leq 0,1$ Гц (Беседина, Кабыченко, 2011). Варто зазначити, що крім таких власних коливань блока при поширенні сейсмічних хвиль у середовищі виникають і коливання із частотою, що відповідає відбиттю коливань від міжблокових границь. Інструментальне дослідження деформаційних властивостей порушень різної будови та масштабів проводиться протягом багатьох років на геофізичних станціях Карпатської сейсмопрогностичної мережі та представлено в роботах (Кравець та ін., 2019; Латынина, 2007).

На заключній стадії циклу ступінчастого ковзання зсувна твердість контакту стає в кілька десятків разів нижче максимального значення. Таке зниження міцності в контактній зоні перед виникненням динамічного зриву може виявитися чутливим індикатором переходу системи у нестабільний стан. Після ж землетрусу щільність порід буде зростати, відповідно й характерна частота системи "блок – розлом" буде змінюватись, що можна інтерпретувати як "захлопування" тріщин. Таке поведіння системи після динамічної події знаходить підтвердження в результатах аналізу низки деформографічних спостережень, проведених у Закарпатті на

РГС "Берегово", де фіксувалося у вигляді П-подібних столиків (Малицький, Кравець, 2010) протягом кількох діб до та після місцевих землетрусів.

Сейсмічний діапазон займає смугу від реєстрації припливних хвиль (Сасорова, Левин, 1999) до контролю сигналів акустичного діапазону. Сейсмоприймач – це магнітоелектричний пристрій маятникового типу, що перетворює механічні коливання на електричний сигнал. Вихідна напруга електричного сигналу пропорційна швидкості переміщення фундаменту, на якому розміщується датчик. Переважна більшість вітчизняного обладнання оснащена інженерними сейсмодатчиками СМ-3 і СМ3-КВ, які розраховані на обмежене коло завдань у середній смузі частот. Пристрій СМ-3 вважається лінійним сейсмічним датчиком у діапазоні від 0,5 Гц до 30 Гц із похибкою, достатньою для практичного застосування в задачах інженерної сейсмології. На рис. 1 відображено стандартизований хід АЧХ сейсмічного каналу Z-станції Carp-Lviv-2 із сейсмодатчиками СМ-3. Нижня границя відтворюваного датчиком СМ-3 діапазону частот визначається основною резонансною частотою маятника з катушкою ($F = 0,59$ Гц). Частоти, які лежать нижче, ослаблені в десятки разів і містяться на рівні шумів сейсмічного каналу.

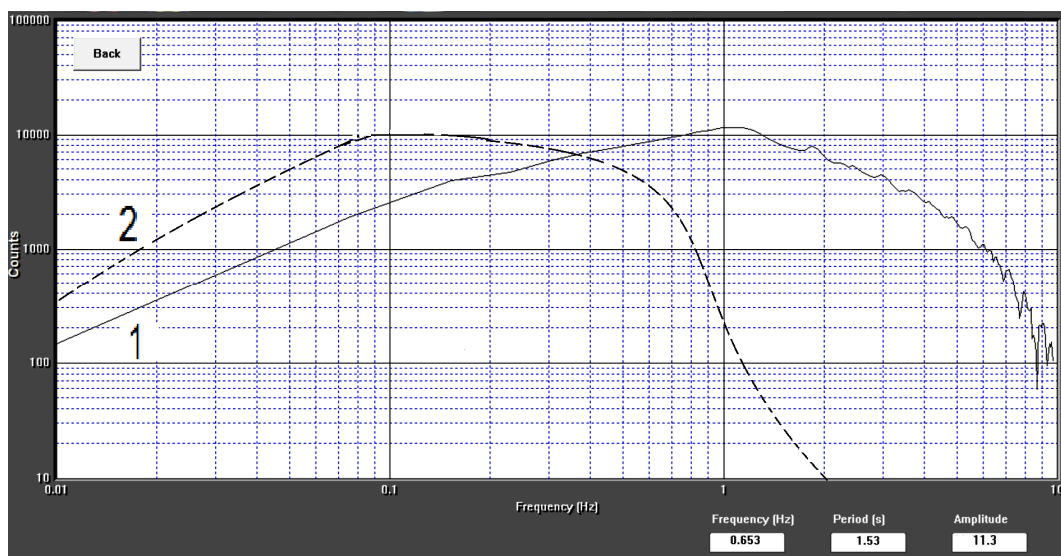


Рис. 1. АЧХ сейсмічного каналу Carp-Lviv-2:

1 – стандартна АЧХ сейсмодатчика; 2 – форма запланованого корегування АЧХ сейсмодатчика СМ-3.

Характеристики нескоректованого каналу Z ($T = 1,6669$ с, частота власних коливань $F = 0,599855$ Гц, демпферна константа $h = 0,719$, генераторна константа $G_s = 19,3112$ (В/м $\times$ с⁻¹), опір катушки маятника $R = 68$ Ом, погоджувальний опір для катушки затушення – це ультраконденсатор – іоністор ємністю 3,3 F (фарад)

Методика. Розширення діапазону можливе конструкційним, програмним або електронним способом. Безумовно, кожен із цих способів має як переваги, так і недоліки, які слід розглядати у конкретних випадках.

При конструюванні погоджувальних електронних схем підсилювачів сейсмічних каналів велику увагу приділяють мінімізації шуму.

До власного шуму підсилювача відносять:

- 1) тепловий шум (шум Джонсона);
- 2) шум Шоткі (дробовий);
- 3) флікер-шум.

У сейсмічній ділянці спектра як такий, що визначає динамічний діапазон вимірювального сейсмічного каналу загалом і граничну чутливість, для реєстрації мікросейсмів застосовують певний клас активних і

пасивних радіокомпонентів та спеціалізоване програмне забезпечення (ECAD – САПР), яке використовують із метою оптимізації параметрів схем і для подальшого застосування результатів моделювання у реальних конструкціях приладів, наприклад FilterLAB, Micro-Cap, Electronics Workbench, Lab VIEW тощо.

Шум і температурні коливання визначають якісні характеристики та межі застосування для систем збирання даних (Data Acquisition System). В описах технічних характеристик сейсмічного обладнання вказуються дві головні категорії шуму:

- 1) низькочастотний (0,1...10 Гц), амплітуда якого вимірюється у мкВ (мікрівольт) від піка до піка;
- 2) широкопasmовий, який вимірюється у мкВ або береться середньоквадратичне значення у мкВ для заданої смуги частот (напр. 0,01–10 Гц), або спектральна

щільність шуму. Спектральна щільність шуму вимірюється у Нв/√Гц.

Зазвичай зазначають низькочастотний і широкосмуговий шум окремо, тому що останній може бути значно зменшений у конкретному випадку, а саме при звуженні діапазону частот.

У нашому випадку оптимізація рівня шуму електронної схеми підсилювача для коректованого сейсмоприймача необхідна для зниження теплового або наведеного шуму, підвищення рівня амплітуд якого викликане додатковими коректувальними операційними підсилювачами й резисторами. Тепловий шум виникає у всіх провідниках за деякої термодинамічної температури T . Відомо, що температура є мірою хаотичного руху молекул речовини. Електрони також перебувають у стані хаотичного руху. Хаотичний тепловий рух носіїв заряду на границях провідника сприймається як завада – сторонній хаотичний сигнал. Отже, радикальним засобом боротьби з тепловими шумами є глибоке охолодження чутливих кіл схеми пристроїв. Нами було застосовано методику електронного охолодження навантажувального опору, але найкращі результати досягаються при охолодженні чутливих входних кіл схем до температури рідкого гелію (4,2 К) (Якимов, 2013). Публікація електронних схем дещо виходить за коло наукового спрямування журналу, отже, нижче буде наведено тільки загальну логіку їхньої роботи.

Неохолоджений опір R_1 – це опір навантаження робочої котушки маятника СМ-3 у схемі підсилювача, який ставиться на "землю". Для зниження шуму "реальний" резистор навантаження R_1 замінюється на "віртуальний" резистор навантаження із опором суттєво більшого номіналу, підключеного не на "землю", а на вихід операційного підсилювача U_1 , що інвертує сигнал, із коефіцієнтом підсилення, що дорівнює відношенню величини застосованого резистора до величини необхідного навантаження. Наприклад, якщо потрібно навантаження опором $R_1 = 47\text{ кОм}$, то можна застосовувати резистор 470 кОм та інвертувальний операційний підсилювач U_1 із $K_u = -10$, де K_u – від'ємний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача.

Зменшення шуму викликане тим, що шум навантажувального резистора R_1 , наведений на вхід підсилювача U_1 , дорівнює тепловому шуму резистора (значення якого дорівнює кореню квадратному із $4KTR$, де K – стала Больцмана, T – абсолютна температура в кельвінах, R – опір в омах), поділеному в десять разів на подільнику з опору навантажувального резистора R_1 та опору джерела сигналу СМ-3. Якщо ми збільшуємо опір навантажувального резистора у 100 разів, то коефіцієнт ділення збільшиться у 100 разів (якщо опір нашого джерела помітно менше опору навантажувального резистора R_1), а шум навантажувального резистора – тільки у 10 разів. Отже, внесок шумів навантажувального резистора R_1 зменшується у 10 разів. Підсилювач U_1 потрібний тільки для того, щоб зберегти необхідне значення величини навантаження R_1 для вихідного сигналу з робочої котушки маятника СМ-3. Якщо на "земляний" R_1 вивід резистора подати посилений у K_u разів сигнал у протифазі, то опір навантаження, який "побачить" джерело сигналу, зменшиться у K_u разів, а точніше, у $K + 1$ разів. Таким чином, ми одержуємо потрібний опір навантаження R_1 та помітно зменшуємо його внесок у шуми вихідного сигналу. Те саме отримаємо, якщо спеціально охолодити навантажувальний резистор R_1 , зменшивши його температуру. Таке підключення іноді називають *віртуальним охолодженням навантажувального опору*.

Для підвищення чутливості й розширення у низькочастотну область діапазону робочих частот реєстрації прискорень необхідно знизити основний резонанс маятника сейсмодатчика. Як відомо, рухома система маятника (маса з котушкою) в області основного резонансу є простою коливальною системою, що складається із маси і гнучкого підвісу. Резонансна частота F такої системи визначається формулою

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{mC}}, \quad (1)$$

де m – маса маятника і котушки та приєднаної маси повітря, грам; C – гнучкість підвісу, см/дин.

Таким чином, щоб конструкційно знизити основну резонансну частоту маятника сейсмодатчика, необхідно збільшити або масу з котушкою, або гнучкість їхнього підвісу, або те та інше разом. Найпростіше просто збільшити масу маятника m , розмістивши на ньому додатковий вантаж. Однак збільшувати рухома масу системи сейсмодатчика недоцільно, оскільки це знизить не тільки резонансну частоту, але й створюваний робочою котушкою вихідний сигнал. Генерований струм у рухомій котушці під дією сили P залежить від значення магнітної індукції між робочою котушкою та постійним магнітом, а коефіцієнт магнітної індукції – від кількості витків у котушці, її омичного опору і відстані до стінок постійного магніту:

$$P = B \times L \times I, \quad (2)$$

де B – магнітна індукція між робочою котушкою і постійним магнітом; L – довжина провідника робочої котушки.

З іншого боку, ця сила становить

$$P = m \times a, \quad (3)$$

де m – маса рухомої системи; a – коливальне прискорення.

Оскільки сила, прикладена до котушки маятника, залежить для сейсмодатчика тільки від величини прискорення, то при збільшенні маси у стільки ж разів зменшиться коливальне прискорення маятника. Оскільки вихідний сигнал, створюваний котушкою в цій області частот, пропорційний прискоренню маятника, то зменшення прискорення рівносильне зниженню вихідного сигналу. Якщо спробувати вдвічі знизити основну резонансну частоту сейсмодатчика, то для цього треба було б збільшити масу маятника датчика в чотири рази, і у стільки ж разів знизився би створюваний котушкою маятника при незмінному прискоренні a вихідний сигнал із робочої котушки. Крім того, збільшення маси підвищило б добротність (Q) рухомої системи маятника і збільшило резонансний пік на АЧХ, а разом із ним – нерівномірність частотної характеристики вимірювального каналу, що, у свою чергу, погіршило б лінійність АЧХ перехідної характеристики сейсмічного каналу загалом. Отже, для зниження резонансної частоти датчика доцільніше збільшити гнучкість підвісу маятника, тобто зменшити зусилля кріплення його рухомої системи. Зробити це можна електронним способом, застосувавши відому (Havskov, Alguacil, 2002) техніку розділення частот і передавання певної частини корисного сигналу назад у робочу котушку сейсмодатчика, використавши активні додатний і від'ємний зворотний зв'язок за допомогою схеми на операційному підсилювачі (OPA 211 1.1-nv/√Hz Noise та BUF 634 3.9-nv/√Hz Noise) у діапазоні 0,01–10 Гц. У колі котушки дифмування, яка створює затухання вимушених коливань маятника, замість узгоджувального опору ми застосували конденсатор – іоністор ємністю 3,3 F (фарад), тим самим відімкнувши її дію на частотах нижче 0,01 Гц. Коли синфазна частина вихідного сигналу з робочої котушки після неінвертувального

інтегратора подається назад у котушку маятника, створюється від'ємний опір, коефіцієнт підсилення зростає та нівелює дію демпфера – іоністора на частотах 0,05–0,01 Гц. Демпферна константа h змінюється (рис. 1), а протифазна частина сигналу внаслідок кінцевої добротності (Q) із від'ємним знаком впливає на основний резонансний частоті F . У такий спосіб досягається зниження основного резонансу маятника сейсмодатчика і корекція його АЧХ. Цей метод коригування повністю відповідає принципу суперпозиції, тобто реакція на суму впливу зовнішніх коливань дорівнює загальному прискоренню, або сумі реакцій на кожний сигнал окремо. Отже, вихідний сигнал синуса з амплітудою, наприклад, 50 мВ, можна вважати тотожним сумі впливу на сейсмодатчик двох синфазних прискорень із амплітудами 5 і 45 мВ. Для налаштованого датчика за лінійного коефіцієнта підсилення схеми з рівнем вихідної напруги при настроюванні як при 5, так і при 50 мВ, маємо отримати тотожний результат із кількісною відмінністю у 10 разів.

Експериментальні дослідження. Станція Carp-Lviv-2 введена в експлуатацію у лютому 2019 року та розташовується в м. Львів у будинку по вул. Наукова, 3б у підвальному приміщенні. Для проведення експерименту використовуються чотири сейсмодатчики СМ-3, три з яких працюють у перманентному режимі, з періодом власних коливань маятника 2 с і чутливістю близько 20 В/м/с, і коректований СМ-3 із періодом маятника 20 с (рис. 2).

Сейсмоприймачі розташовуються на горизонтальному майданчику в напрямку південь – північ, захід – схід, а третій і четвертий – довільно для реєстрації вертикальної складової z . Для реєстрації та збереження сигналів використовується система збирання інформації на базі персонального комп'ютера, що містить широкомуговий акустичний реєстратор ЗУА-3, сейсмоприймачі СМ-3 та цифровий багатоканальний термограф із кроком відліку 0,02°C/с. Реєструвальні датчики разом становлять широкопasmовий сейсмоакустичний канал із частотним діапазоном від 0,1 до 300 Гц. Всі його

компоненти встановлені на загальній платформі на бетонному фундаменті. Енергія значної частини зареєстрованих нами подій на станції зосереджена у високочастотній області спектра в ділянці 2–70 Гц, а амплітуда сейсмічних хвиль, що надходять від віддалених джерел, порівняно мала. Практичну користь становлять сейсмічні записи тих подій, рівень зареєстрованих коливань яких перевищує рівень шуму в кілька разів. Сигнали світових сейсмічних подій стають слабковидимими на тлі природного й техногенного шуму вже на відстанях кількох сотень кілометрів. Для досліджень у таких умовах і встановлено додатковий коректований сейсмодатчик СМ-3 із розширеним частотним діапазоном у низькочастотну область спектра в ділянці 0,1–3 Гц. На рис. 2 показано АЧХ коректованого сейсмічного каналу Z , а на рис. 3 – добовий фрагмент збережених хвильових форм.

Рис. 3 демонструє, що в умовах рівня сейсмічного шуму, характерного для населеної місцевості, діапазон частот можна розширити до 0,1–5 Гц за умови, що амплітуда сигналу більше рівня шуму в кілька разів (епіцентр підземного поштовху розташовувався за 67 км на північний захід від м. Галац у Румунії, тобто на відстані 480 км від ст. Carp-Lviv-2, глибина гіпоцентра становила 54 км, магнітуда – 4,9 бали за шкалою Ріхтера).

Отже, за допомогою запропонованої методики робоча смуга частот інженерних сейсмометрів СМ-3 може бути гранично розширена до 0,1 Гц при реєстрації сейсмічних коливань із амплітудами вище ніж 0,3 мкм/с, що дозволяє застосовувати його у наднизькочастотній ділянці спектра.

Адаптовано до використання методику електронного корегування первинних датчиків СМ-3 із метою розширення робочого діапазону частот сейсмічного вимірювального каналу. При дослідженні отриманих хвильових форм експериментально визначені межі застосування методики з урахуванням умов проведення вимірів для розширення можливостей сейсмічних спостережень при розв'язанні визначеного кола геофізичних завдань.

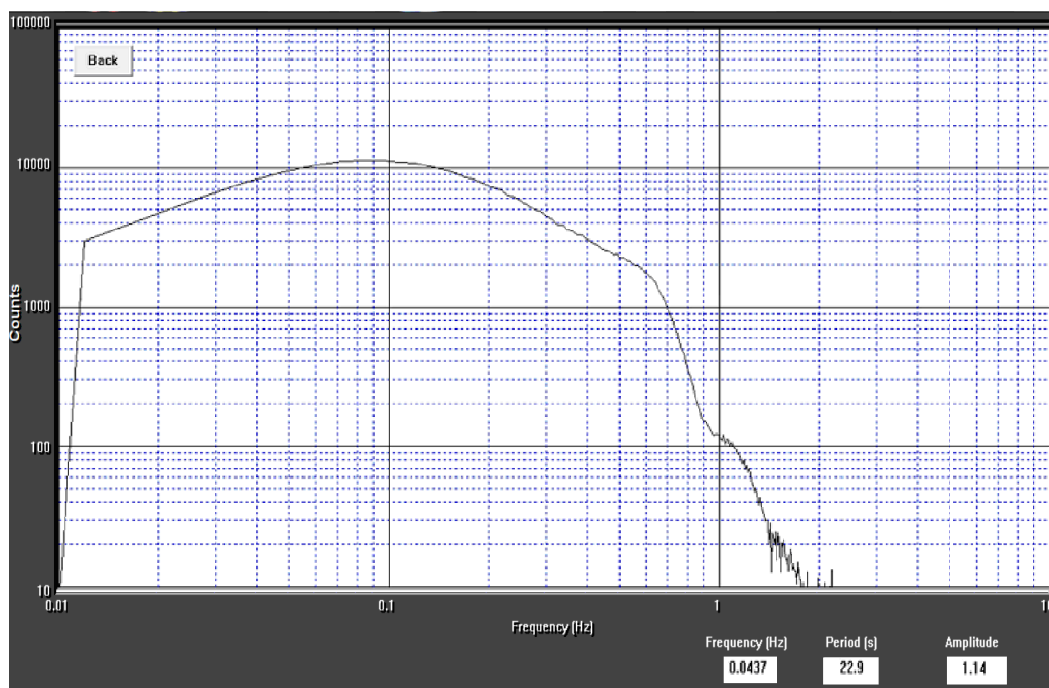


Рис. 2. АЧХ сейсмічного каналу Z із коректованим СМ-3

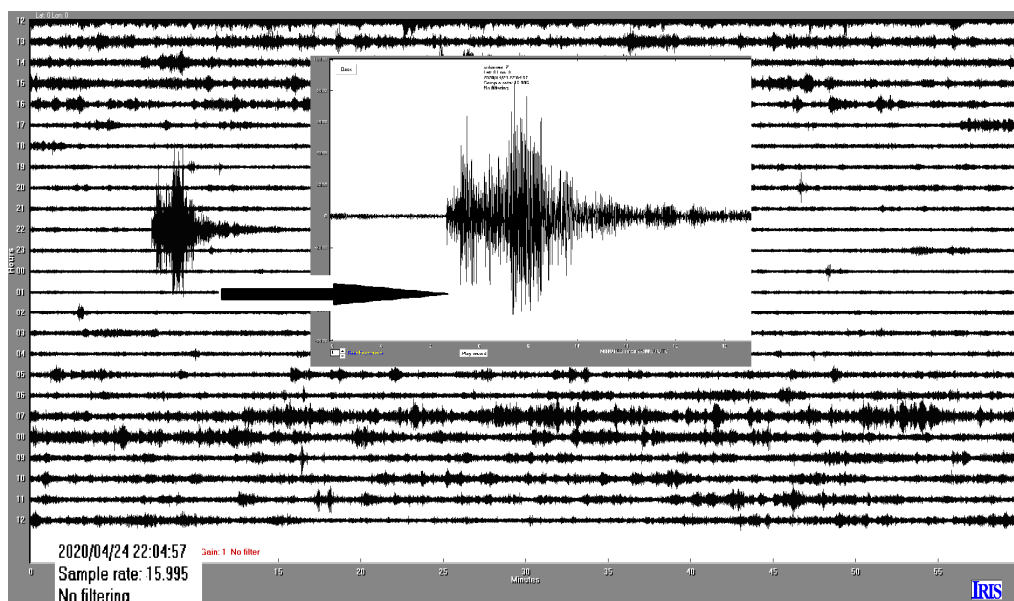


Рис. 3. Амплітудні складові добового ряду спостережень і час реєстрації приходу хвиль землетрусу на станцію Carp-Lviv-2, зафіксовані сейсмометром CM-3 із коректованим АЧХ

Висновки. Підвищення рівня чутливості системи реєстрації у низькочастотній області дозволяє досліджувати приуроченість мікроземлетрусів до різномасштабних геологічних структур при підвищеному рівні шуму й оцінити параметри сейсмічного режиму, контролювати розвиток природних карстових явищ і техногенних тріщин та деформацій, визначати можливі джерела виникнення помилок при оцінюванні характеристик вогнищ слабких сейсмічних подій у низькочастотній області спектра. Результати комплексної сейсмоакустичної методики моніторингу дозволяють проводити спільний аналіз даних сейсмічних і геоакустичних спостережень та визначати особливості відгуку процесів напружень деформацій у досліджуваному регіоні. Для впевненого контролю території система моніторингу забезпечує реєстрацію слабких сейсмічних подій із магнітудами $M \geq 2$. На підставі аналізу результатів обробки сигналів реєстрації землетрусів, здійснених експериментально портативною сейсмоакустичною апаратурою на контрольному пункті – обсерваторії "Яноші", розташованому в районі Закарпатського прогину, встановлено, що широкорозповсюджені інженерні датчики CM-3 із коректованими частотними характеристиками в деяких випадках можуть замінити нестачу дорогих низькочастотних геофонів. Головним дестабілізуючим фактором є коливання температури середовища, яку необхідно постійно контролювати. Надалі для встановлення кількісних залежностей необхідно продовжити розширення бази даних як слабких, так і високомагнітудних сейсмічних подій. Отримані результати можуть стати інформаційно-аналітичною підтримкою для прийняття рішень у сфері екологічної безпеки та раціонального використання коштів.

У майбутньому планується провести граничне електронне і програмне корегування хвильових форм диференціальних сейсмоматчиків СГ-5 для вимірювання рівня механічних шумів рухомої системи маятника і вивчити можливість дослідження хвильових форм гравітаційного сонячно-місячного припливоутворювального потенціалу.

Список використаних джерел

Беседина, А.Н., Кабыченко, Н.В. (2011). Исследование сейсмических колебаний в длиннопериодной части спектра. Том 3. Аэрокосмические исследования, прикладная механика. ТРУДЫ МФТИ, 51.

Кравець, С., Малицький, Д., Микита, А. (2019). Інструментальні дослідження сейсмоакустичного випромінювання у геосередовищі. Зб. матеріалів VII Міжнар. наук. конф. Геофізика і геодинаміка: прогнозування та моніторинг геологічного середовища, 24–26 верес. 2019 р., Львів, 74–78.

Латынина, Л.А. (2007). Изучение современных движений земной коры по данным подземных деформационных станций. Геодинамика, 1(6). Малицький, Д.В., Кравець, С.В. (2010). Аналіз деформографічних спостережень у Закарпатті. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія, 48, 48–52.

Немчинов, Ю.І., Хавкін, О.К., Мар'єнков, М.Г., Жарко, Л.О., Дунін, В.А., Бабік, К.М. (2013). Практичні питання динаміки будівель. Будівництво України, 6, 6–21.

Рыков, А.В. (1963). Влияние обратной связи на параметры маятника. Известия АН СССР. Серия геофизическая, 7.

Рыков, А.В. (1972). Моделирование сейсмометра. Сейсмические приборы, 6, 32–34.

Сасорова, Е.В., Левин, Б.В. (1999). Низкочастотные сейсмические сигналы, как региональные признаки подготовки землетрясения. Вулканология и сейсмология, 4–5, 126–133.

Якимов, А.В. (2013). Физика шумов и флуктуации параметров. Электронное учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет.

Al-Alaoui, M.A. (2001). Low-frequency differentiators and integrators for biomedical and seismic signals. Circuits and systems I: fundamental theory and applications. IEEE Transactions on., 48, 8, 1006–1011.

Havskov, J., Alguacil, G. (2002). Instrumentation in Earthquake Seismology. Springer Dordrecht. University of Bergen Department of Earth Science Bergen, Norway Gerardo Alguacil Andalusian Institute of Geophysics and Earthquake Disaster Prevention University of Granada Granada, Spain.

References

Al-Alaoui, M.A. (2001). Low-frequency differentiators and integrators for biomedical and seismic signals. Circuits and systems I: fundamental theory and applications. IEEE Transactions on., 48, 8, 1006–1011.

Besedina, A.N., Kabychenko, N.V. (2011). Issledovaniye seysmicheskikh kolebaniy v dlinnoperiodnoy chasti spektra. TRUDY MFTI. Tom 3. Aerokosmicheskiye issledovaniya. prikladnaya mekhanika, 51. [in Russian]

Havskov, J., Alguacil, G. (2002). Instrumentation in Earthquake Seismology. Springer Dordrecht. University of Bergen Department of Earth Science Bergen, Norway Gerardo Alguacil Andalusian Institute of Geophysics and Earthquake Disaster Prevention University of Granada Granada, Spain.

Kravets, S., Malytskyi, D., Mykita, A. (2019). Instrumentalni doslidzhennia seismoakustichnoho vyprominiuvannia u heoseredovyschi. Zb. materialiv VII Mizhnar. nauk. konf. Heofizika i heodynamika: prohnouzuvannia ta monitorynh heolohichnoho seredovyscha. 24–26 veres. 2019 r., Lviv, 74–78. [in Ukrainian]

Latynina, L.A. (2007). Izucheniyе sovremennykh dvizheniy zemnoy kory po dannym podzemnykh deformatsionnykh stantsiy. Geodinamika, 1(6). [in Russian]

Malytskyi, D.V., Kravets, S.V. (2010). Analiz deformografichnykh sposterezen u Zakarpatti. Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology, 48, 48–52. [in Ukrainian]

Nemchyinov, Yu.I., Khavkin, O.K., Marienkov, M.H., Zharko, L.O., Dunin, V. A., Babik, K. M. (2013). Praktychni pytannia dynamiky budivel. Budivnytstvo Ukrainy, 6, 6–21. [in Ukrainian]

Rykov, A.V. (1972). Modelirovaniye ceysmometra. *Seysmicheskiye pribory*, 6, 32-34. [in Russian]

Rykov, A.V. (1963). Vliyaniye obratnoy svyazi na parametry mayatnika. *Izvestiya AN SSSR. Seriya geofizicheskaya*, 7. [in Russian]

Sasorova, E.V., Levin, B.V. (1999). Nizkochastotnyye seysmicheskiye signaly. kak regionalnyye priznaki podgotovki zemletryaseniya. *Vulkanologiya i seysmologiya*, 4-5, 126-133. [in Russian]

Yakimov, A.V. (2013). Fizika shumov i fluktatsii parametrov. Elektronnoye uchebnoye posobiye. Nizhniy Novgorod. Nizhegorodskiy gosuniversitet. [in Russian]

Надійшла до редколегії 19.05.22

S. Kravets, Cand. Sci. (Geol.), Leading Researcher,

E-mail: sergiy@cb-igph.lviv.ua;

D. Malytsky, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.,

E-mail: dmalytsky@gmail.com;

O. Astashkina, Cand. Sci. (Geol.), Researcher,

E-mail: sac1@ukr.net;

Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

3-b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine

ACTUAL APPROACHES TO THE ADAPTATION OF SEISMIC SENSORS FOR THE MAN-CAUSED TERRITORIES

The article is devoted to the elucidation of experimentally tested methods for correcting the frequency range, amplitudes and noise levels for seismic sensors. Increasing the level of sensitivity of the registration system in a certain frequency range allows flexibly and in a short time to study the timing of microearthquakes in different geological structures and assess seismic parameters, control the development of natural karst phenomena and man-made cracks and deformations. The method of expanding the limits of application of common seismic transmitters type SM-3 and (SM-3 KV) in the seismic channels of portable seismic stations used in Ukraine is presented to solve a number of problems of seismology in technogenic-loaded regions with a high level of industrial average daily noise components.

The article presents some results of registration of seismic signals performed by the information collection system using additional corrected seismic sensors SM-3 with extended frequency range in the low frequency range of the spectrum 0.1–3 Hz, installed at Carp-Lviv-2.

Keywords: seismic event, engineering-geophysical researches, spectral-temporal analysis, seismic monitoring, temporary point of seismic observations.