

ЗАДАЧІ І МЕТОДИ ІНЖЕНЕРНОЇ СЕЙСМОМЕТРІЇ ЯК СУЧАСНОГО ЕТАПУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ СЕЙСМОЛОГІЇ

Коротко розглянута історія становлення сейсмометрії – науки про інструментальну сейсмологію. Сформульовано задачі фізичної та інженерної сейсмології, для рішення яких доцільно використовувати провідникову і радіотелеметрію.

The history of becoming of seismometry – Science about tool seismology is briefly considered. Problems of physical and engineering seismology for which decision it is expedient to use wire and radiotelemetry are formulated.

За сто років свого існування інструментальна сейсмометрія пройшла декілька етапів розвитку. Чутливість перших так званих "важких" сейсмічних приймачів дозволяла реєструвати землетруси на відстанях у перші десятки кілометрів. Починаючи з 1902 р., коли академіком Б.Б. Голіциним були створені сейсмографи з гальванометричною реєстрацією, що забезпечувала збільшення близько 1000, стала можливою реєстрація сейсмічних явищ на епіцентральных відстанях у тисячі кілометрів, тобто, можливість "просвічування" Землі сейсмічними хвилями. Тому першою принциповою задачею сейсмології стало з'ясування питання про будову планети, існування земного ядра, що прогнозують за відомою інформацією про розміри Землі, її масу та щільність порід у поверхневих частинах планети. (Ця задача, певною мірою була успішно вирішена). Перші ж сейсмографи, отримані за допомогою приладів Голіцина, показали, що періоди коливання ґрунту в сейсмічних хвилях від сильних далеких землетрусів перевищують 1-2 секунди. Тому протягом перших десяти років інтенсивно розвивалася "довгоперіодна сейсмометрія", що забезпечувала чутливість, достатню для реєстрації сейсмічних подій у будь-якій точці планети, починаючи з магнітуди, рівної 4. Надалі до проблеми внутрішньої будови Землі додалася задача вивчення механізму вогнища землетрусу, що зажадала від сейсмометрії реєстрації ще більших періодів коливання. В результаті були використані прилади, здатні реєструвати коливання з періодами біля тисячі секунд.

Разом з тим, потреби запису близьких відносно високочастотних землетрусів призвели до розвитку іншої галузі сейсмометрії – створення апаратури для реєстрації коливання з частотами вище 1 Гц. Низька повторюваність сильних сейсмічних подій і необхідність прискореного вивчення певних процесів за спостереженнями слабких землетрусів зумовили створення апаратури зі збільшенням у 10000 і більше (до 10^5).

У потужний напрямок сформувалися сейсмічні спостереження для промислової розвідницької геофізики. В силу економічних потреб і специфіки короткострокових експедиційних робіт цей напрямок швидко обігнав розвиток техніки фізичних сейсмологічних досліджень, виконуваних академічними організаціями. Сейсморозвідка раніше загальної сейсмології перейшла від гальванометричної реєстрації до магнітного запису інформації. Тривалий час використовували реєстраційні станції "Поиск" (виробництва СРСР) з магнітними реєстраторами рулонного і барабанного типу. Відповідно модифікації використовуваної станції запис проводили на магнітну плівку завширшки від 35 до 70 мм, або на плівку завширшки 125 мм [1].

Деякі геофізичні організації колишнього СРСР дотепер зберігають велику кількість (до кількох сотень тисяч) магнітограм. Незважаючи на наявну потребу в цій геофізичній інформації, сьогодні існує думка про марність використання отриманих раніше магнітограм через такі причини:

- ✓ будь-які завади і спотворення, що виникли під час аналогової реєстрації, стають частиною запису і вже не можуть бути вилучені з вихідного матеріалу;

- ✓ аналоговий запис практично непридатний для комп'ютерної обробки;

- ✓ магнітна плівка досить чутлива до вологості повітря і наявності пилу;

- ✓ під час аналогового запису визначальним чинником є рівень сигналу (рівень магнітної індукції на магнітофонній стрічці, що згодом знижується з причини старіння стрічки) і частота, а сам сигнал має характер безперервної функції;

- ✓ стрічка може бути випадково розмагнічена;

- ✓ за багатократного використання йде природний процес механічного стирання звукозаписного шару.

Таким чином, очевидно, що після двох і більше десяти років збереження магнітограм динамічний діапазон запису стає значно меншим. Крім цього, магнітний шар носія згодом може бути частково зруйнований, що призводить до втрати даних [2].

Вказаний напрямок (сейсморозвідка) має сьогодні комплекс методичних і технічних систем, що відрізняють його від загальнонаукових проблем фізичної сейсмології.

Спроби застосування сейсморозвідувальної техніки для сейсмологічного дослідження призвели на певному етапі до експериментальної реєстрації сейсмологічної інформації пристроями з аналоговим магнітним записом. Ці реєстратори використовували переважно для експедиційного спостереження, коли забезпечували значно частіший контроль, ніж можливий на стаціонарних станціях цілодобового спостереження.

Цифрова реєстрація відкрила новий період сейсмометричного спостереження, початок якого привів до виникнення нових задач. Серед яких:

- ✓ задачі детального визначення будови середовища в регіональному і локальному масштабах [3, 4];

- ✓ вивчення поля напрямків приходу сейсмічних хвиль у функції координат точок високодетальної системи спостереження як засобу визначення флуктуації щільності потоку сейсмічної енергії [5];

- ✓ використання локальних систем спостереження для інструментальних способів динамічного зонування сейсмічного впливу в межах ділянок території [6];

- ✓ вивчення споруди як фізичного об'єкта, в тому числі, аналіз реакції споруди на сейсмічний або механічний вплив [7];

- ✓ детальне експериментальне вивчення дисипативних властивостей споруди [8];

- ✓ застосування нових систем спостереження з апаратурою в довільних точках спостереження у споруді [9];

- ✓ аналіз нелінійних процесів у ґрунті та штучній споруді.

Рішення всіх цих і низки інших задач вимагає використання систем спостереження з високою щільністю, а також ідентифікованих і каліброваних сейсмометричних каналів [10, 11]. Сьогодні є можливим створення таких систем спостереження на базі автономних цифрових реєстраторів, але економічно це недоцільно.

Застосування *телеметрії* в системі збору і реєстрації цифрової інженерно-сейсмометричної інформації може істотно знизити рівень економічної складності під час її реалізації. Оскільки застосування телеметрії для збору сейсмометричної інформації має принципове значення, розглянемо її варіанти докладніше.

У результаті вивчення вже існуючих типів сейсмічних реєстраційних станцій (СРС) і порівняльного аналізу різних типів провідникових ліній зв'язку до розробки запропонована схема СРС з економічною топологією провідної лінії зв'язку [12] (рис. 1).

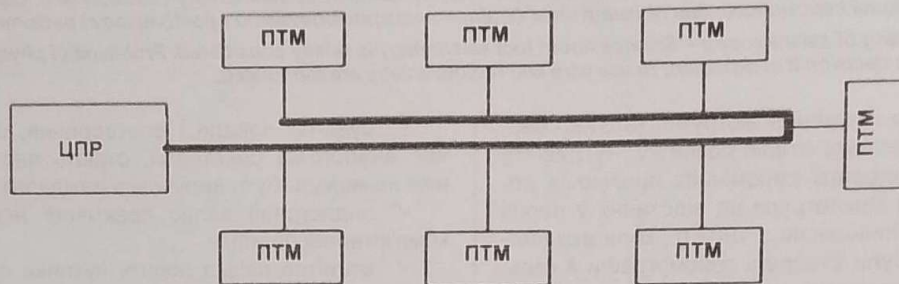


Рис. 1. Структура СРС із загальною шиною: ПТМ – польовий телеметричний модуль, ЦПР – центральний пункт реєстрації.

СРС такої структури використовує одну лінію зв'язку, що поєднує всі ПТМ. Цим забезпечується ефективне використання пропускної здатності каналу, стійкість до несправності окремих вузлів, простота реконфігурації і нарощування кількості ПТМ. Інформація, що передається може поширюватися по обидва боки. Застосування такої структури СРС зменшує вартість провідників, уніфікує підключення різних модулів, забезпечує можливість майже миттєвого ширококомовного звернення до всіх ПТМ. Основними перевагами такої схеми є висока вартість і просте розведення кабелю.

зволяє істотно підвищити якісний рівень реєстрації та обробки сейсмограм (рис. 2).

На підставі розгляду кола задач, розв'язуваних під час цифрової обробки сейсмічних сигналів і структур аналого-цифрових перетворювачів (АЦП), застосовуваних у сучасних цифрових системах обробки і передачі інформації, в цій роботі запропоновано АЦП, що до-

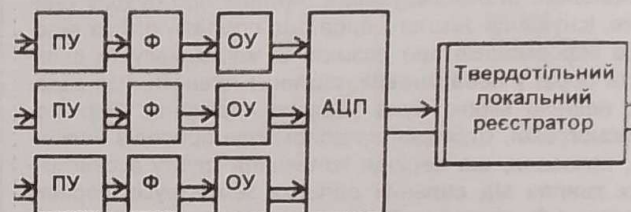


Рис. 2. АЦП у системі реєстрації сейсмічної інформації: ПУ – попередній підсилювач, Ф – фільтр, ОУ – окінецьний підсилювач, АЦП

Такий АЦП є складовою частиною ПТМ [13] (рис. 3).

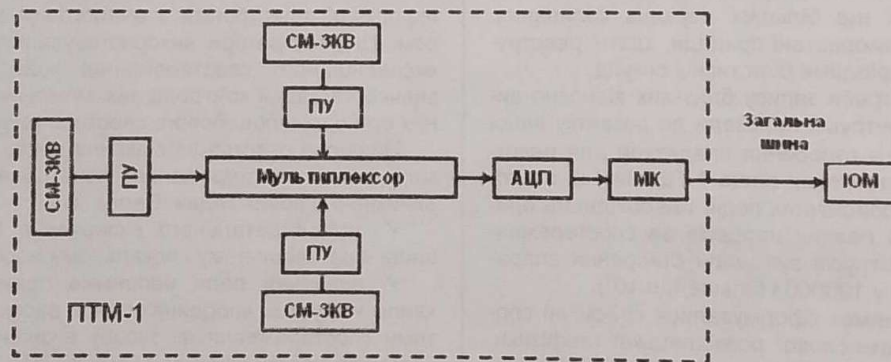


Рис. 3. Блок-схема лабораторного макета ПТМ

На основі запропонованого складено схему лабораторного макету ПТМ, розробленого в лабораторії кафедри механіки і сейсмостійкості споруд КАПКБ. Розглянуто характеристики окремих блоків ПТМ. Досліджено вимоги до апаратури для сейсмічного спостереження. Проведено лабораторні дослідження макету (див. блок-схему експериментальної системи ПТМ) [14].

Запропонований ПТМ має такі переваги:

- ✓ порівняно невеликі габарити і вага (що можуть бути додатково зменшені в разі використання компактніших сейсмодатчиків);
- ✓ низьке споживання електроенергії;
- ✓ можливість розробки режиму запису і передачі інформації за допомогою програмного забезпечення (завдяки використанню програмованого мікроконтролера);

- ✓ можливість підключення знімного твердотілого блоку пам'яті;
- ✓ просте нарощування кількості ПТМ на обстежуваному об'єкті (кількість ПТМ залежить лише від обсягу буферної пам'яті і швидкості зчитування та передачі інформації з телеметричної лінії).

Перераховані переваги дозволяють використовувати цей ПТМ у системах збору та обробки інформації у варіантах із провідниковою лінією зв'язку, з радіолінією та у касетному варіанті.

Касетний метод застосовують під час тривалого спостереження за досліджуваним об'єктом в умовах, що не дозволяють застосувати перші два варіанти (перешкоди у доступі, наявність сильних радіоперешкод). При цьому знімний твердотілий елемент пам'яті 3

даними періодично заміняють на новий. Обробку записаної інформації проводять у стаціонарних умовах.

В усіх випадках обробку інформації проводять за допомогою комп'ютера.

На основі ПТМ, розробленого на кафедрі механіки і сейсмостійкості споруд, запропонована структура СРС, що використовує комбінований спосіб передачі цифрової інформації, оптимальний для інженерної сейсмометрії [15]. Проведено випробування макета провідникової системи збору інженерно-сейсмометричної інформації в лабораторних умовах.

Для прийому даних на персональному комп'ютері розроблена програма ADCse.

Програма визначає наявність сигналу в каналі зв'язку, встановлює швидкість і протокол обміну даними з периферійними пристроями, обробляє пакети, що надходять, заносить отримані дані до масиву, будує сейсмограми в реальному масштабі часу, зберігає результати вимірів у текстовий файл, або передає як електронні таблиці в Microsoft Excel.

Комбінація часового поділу каналів і пакетної комутації в системі збору інженерно-сейсмометричної інформації дозволяє досягти таких переваг як просте нарощування і розширення, гарна захищеність переданої інформації, висока надійність і відмовостійкість системи.

Сформульовані вище задачі детального спостереження – від одержання тривимірної моделі будови середовища в районі розташування об'єкта дослідження до експериментального аналізу нелінійних процесів у ґрунті і споруді – не мають сенсу без забезпечення каліброваної якості засобів реєстрації відгуку об'єкта на вплив [16]. З іншого боку, постановка детального сейсмометричного спостереження на ґрунті, на будинках і спорудах, або на їх фрагментах потрібна для рішення інженерних задач.

Таким чином, використання сейсмотелеметричного збору інформації, одержуваної від детальної системи каліброваних приймачів, ставить інженерно-сейсмометричні вишукування на рівень фундаментального фізичного дослідження.

Якщо фізична сейсмологія і геофізична сейсморозвідка мають чітко визначені задачі, інструментальні засоби спостереження і методи проведення спостереження та аналізу їх результатів, то термін "інженерна сейсмометрія" не має визначальних характеристик.

Наявний досвід спостереження відгуків реальних землетрусів і штучних механічних впливів за допомогою метрологічно каліброваних апаратних засобів дозво-

ляє сформулювати таке визначення поняття "інженерна сейсмометрія": інженерна сейсмометрія це розділ геофізики, що активно і пасивно детально вивчає динамічні властивості верхньої частини земної кори та інженерних конструкцій (будівель і споруд) цифровими каліброваними радіоінструментальними засобами і математичними методами.

В галузі інженерної сейсмометрії широко застосовуються методи механіки (в тому числі, теоретичної, прикладної і будівельної), радіофізики, математики, інформатики.

1. Сейсморозвідка. Справочник геофизика / Под ред. И.И. Гуровича, В.П. Номоконова. – М.: "Недра", 1981. – 464 с.
2. Цвей Е.В., Скоробогатый Л.И. Некоторые вопросы хранения и использования сейсмической информации прошлых лет. Геофизика (спец. выпуск), 2001, С. 130-131.
3. Гобаренко В.С. Изучение скоростных характеристик коры западной части Крымской сейсмогенной зоны. Сейсмологический бюллетень Украины за 1999 г., ИГФ НАНУ, Симферополь: Крымский экспертный совет по оценке сейсмической опасности и прогнозу землетрясений, 2001, С. 71-75.
4. Гобаренко В.С. Пространственно-временные особенности поля скоростей в центральной части Крымской сейсмогенной зоны, С. 89.
5. Бугаевский Г.Н. Численный анализ реакции грунта на сейсмическое воздействие. Будівельні конструкції, вип. №64, Київ, НДІБК, 2006, с. 254-261.
6. Бугаевский Г.Н., Бугаевский А.Г. Сейсмическое спектрально-динамическое зонирование территорий и сооружений. Будівельні конструкції, вип. №53, кн. 1, Київ, НДІБК, 2000, С. 69-77.
7. Немчинов Ю.И., Кендзера А.В., Бугаевский Г.Н. Динамическая паспортизация сооружений как составная часть СНиПа // Будівельні конструкції, вип. №60, Київ, НДІБК, 2004, С. 193-198.
8. Бугаевский Г.Н. Спектрально-динамические и диссипативные свойства элементов сооружения. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 85-88.
9. Бугаевский Г.Н. Общая схема универсального сейсмометрического канала для выполнения наблюдений в произвольной точке объекта. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 82-84.
10. Бугаевский Г.Н., Белов В.П., Нестеренко С.Д., Геращенко А.А. Стенд для испытаний и калибровки сейсмометрической аппаратуры. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., Вып. №5, Симферополь, КАПКС, 2001, С. 92-97.
11. Цмыкал Д.А. Характеристики точности калибровки динамического стенда. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр., вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 103-106.
12. Агапов В.Н. Линии связи для инженерной сейсмологии. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №10, Симферополь, КАПКС, 2005 (в печати).
13. Агапов В.Н. Аналого-цифровые преобразователи в сейсмогистрирующих системах. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №11, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 78-81.
14. Агапов В.Н. Проводная система сбора инженерно-сейсмометрической информации с временным разделением каналов и пакетным коммутированием. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Вып. №13-14, Симферополь, КАПКС, 2006, С. 39-43.
15. Агапов В.Н. Полевой телеметрический модуль в системах сбора и регистрации инженерно-сейсмометрической информации. В сб. Строительство и техногенная безопасность. Симферополь, КАПКС, 2006 (в печати).
16. Цмыкал Д.А. Сейсмометрический анализ производственных шумов. Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. тр. вып. №12, Симферополь, КАПКС, 2005, С. 92-97.

Надійшла до редколегії 26.01.07

УДК 550. 837

М.В. Рева, канд. фіз.-мат. наук, Т.В. Руденко, пров. інж., Н.С. Єгорова, пров. інж.

ДО ПИТАННЯ ПРО ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГЕОЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРІЗУ В МЕТОДІ ІНТЕГРАЛЬНИХ ІНДУКЦІЙНИХ ЗОНДУВАНЬ

Розглянуті можливості трансформації експериментальних вимірів частотних характеристик інтегральних параметрів індукційної петлі (активного опору та індуктивності), розташованої над провідним півпростором, в криві електромагнітних зондувань.

We consider the possibilities of transformation of experimental measurements of frequency characteristics of integral parameters of inductive loop (active resistance and inductance) located on conducting half-space into the curves of electromagnetic probes.

В роботах [1-3] наведені теоретичні основи нового методу геоелектричних досліджень, названого інтегральними індукційними зондуваннями (ІІЗ). Сутність його полягає в тому, що в цьому методі вимірюваними параметрами є не напруженості електромагнітного поля, які зазвичай використовуються в традиційних індукційних методах з контрольованими джерелами (частотно-го електромагнітного зондування та становлення поля

[4,5]), а безпосередньо інтегральні характеристики самого джерела збудження поля – незаземленої індукційної петлі, що живиться гармонічним струмом. Під динамічними інтегральними характеристиками індукційної петлі розуміються залежності від частоти ω приростів її активного опору $\Delta R(\omega)$ та індуктивності $\Delta L(\omega)$ відносно статичних значень цих параметрів. Частотна дисперсія активного опору та індуктивності петлі зумовлена елек-