

РЕЄСТРАЦІЯ СЕЙСМІЧНИХ СИГНАЛІВ ЗЕМНОПРИПЛИВНИМИ ПРИБЛАДАМИ

Вивчено можливість застосування земноприпливних приладів для реєстрації сейсмічних хвиль від землетрусів та інших геодинамічних подій. Досліджується інерційна і гравітаційна складові сейсмічного сигналу в маятникових сейсмометрах і припливних приладах (сейсмонахиломірах і гравіметрах). Показано, що це тотожні прилади і відрізняються стабільністю вузлів та параметрами елементів фільтрації. Припливні прилади більш чутливі в наддовгоперіодній області, де переважає гравітаційний вклад. Дано приклади записів сейсмічних коливань припливними приладами при деяких землетрусах.

Ключові слова: сейсмічні спостереження; сейсмометри; гравіметри; сейсмонахиломіри; припливи землетруси.

Вступ. Режимні сейсмічні спостереження є важливою і необхідною частиною моніторингу навколишнього середовища. Не зважаючи на столітню історію, створення мережі сейсмічних станцій в сейсмічних і в асейсмічних регіонах ще й сьогодні являється актуальним завданням геофізики. Принципи оснащення і функціонування таких станцій відпрацьовані і змінюються під впливом науково-технічного прогресу та нових завдань сейсмометрії [Чебров В.Н. та ін., 2006]. Майже всі сейсмічні спостереження до 90-х років 20 століття виконувались вузькосмуговими сейсмометрами і аналоговими методами. Така, класична, технологія забезпечувала 5 % точність. З часом виникла потреба в масштабних дослідженнях різнопланових геодинамічних процесів і такої точності стало недостатньо. Вирішується це удосконаленням реєстраторів і сейсмодавачів. Стрімкий розвиток комп'ютерно-цифрових технологій, що спостерігається останні 10 років, дозволив підняти точність і динамічний діапазон реєстрації сейсмічних даних в тисячі разів (до 22-24 біт). Що ж до сейсмодіагностичних давачів, то тут теж маємо прогрес - в останні 10-15 років їх точність підвищено в десятки разів. Прогрес порівняно невеликий, що пояснюється впливом дестабілізуючих факторів і сьогодні точність сейсмічних спостережень обмежують давачі.

Сейсмометричні та припливні давачі. На сьогодні відомо багато типів сейсмометрів, більшість з яких побудовані на основі механічних маятникових систем. Немайтникові (бульбашкові, електролітичні та інші) сейсмодавачі мають гірші характеристики і знайшли застосування при режимних спостереженнях. Класичні, маятникові сейсмометри, а це переважно модифікації сейсмометра Голіцина з електродинамічним перетворювачем переміщень, вже майже століття використовують для таких спостережень. Їх основний елемент - пружинний або горизонтальний маятник (вертикальний або горизонтальний сейсмометр) на який встановлено давач-перетворювач зміщень в електричний сигнал.

Пружинний чи горизонтальний маятники також являються базовими вузлами гравіметра чи

нахиломіра, які застосовують для спостережень за варіаціями гравітаційного поля Землі та нахилів земної поверхні, в тому числі й земних припливів. Основна відмінність класичних сейсмометрів і припливних приладів полягає в тому, що в перших, як правило, використовували давач, вихідний сигнал якого пропорційний швидкості, а в других - позиційний давач, вихідний сигнал якого пропорційний зміщенню. Тому, в припливних приладах смуга пропускання починається з 0-ї частоти, а класичні сейсмометри на частотах $< 0,001$ Гц нечутливі, що виключає дрейф нуля маятника. В припливних приладах дрейф нуля являється основною завадою і його зменшують технологічними та конструктивними засобами (термостатування, барокомпенсація). Це зменшило дрейф нуля в гравіметрах до 10^{-10} (0,1 ugal) в рік, в надпровідникових приладах - 10^{-11} - 10^{-12} . Роздільну здатність припливних нахиломірів автокомпенсаційного типу доведено до 10^{-12} - 10^{-13} рад. Інша відмінність припливних приладів і сейсмометрів полягає в тому, що в перших демпфуванням та фільтрацією припливи ефективно очищаються від мікросейсм та височастотної сейсміки

Аналіз балансу сил в маятнику. Щоб прояснити особливості функціонування маятника в таких приладах, а заодно знайти шляхи покращення їх параметрів, виконаємо аналіз силових факторів, що діють на маятникові системи давачів. Як відомо, сейсмічний сигнал складається з 2-х горизонтальних (x і y) та вертикальної (z) компонент. Горизонтальні складові сприймають горизонтальні маятники, а вертикальну - пружинний маятник. Тіло (маса) маятника є чутливим елементом і при коливаннях основи рухається відносно неї. Причём, на маятник діє не зміщення, а сила (чи момент сили), яка є сумою сили інерції, гравітаційної сили, сил тертя ($F_{тр}$) та компенсуючої сили пружини (F_k). Роль "пружини" може відігравати не тільки пружина, а й магнітне, електростатичне чи інше стобільне силове поле. Баланс сил, що діють на маятник описується наступними рівняннями:

а) сили, що діють на тіло маятника вертикального сейсмометра при зміщенні z

$$F = m \frac{d^2 z}{dt^2} + (mg_0 - \frac{2mg_0 z}{R}) + F_{Tp} + F_k + \Delta g(t) \quad (1)$$

б) сили, що діють на тіло горизонтального маятника при зміщенні x (чи y)

$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2} + g_0 \sin \varphi(z) + F_{Tp} + F_k + g_0 \psi(t) \quad (2)$$

В цих формулах: F – сумарна сила; перша складова якої – інерційна сила; друга і третя – гравітаційна сила; m – маса маятника; g_0 та R – прискорення сили тяжіння і радіус Землі. Останні члени в (1), (2) – компоненти варіацій сили тяжіння $g(t)$ (наприклад, припливи), а $\psi(t)$ – нахил земної поверхні.

Проходження сейсмічної хвилі з частотою ω , амплітудою A , швидкістю V викликає в точці спостережень зміщення z (або x чи y), яке дорівнює $z = A \cos(\omega t - \frac{\omega}{V} r)$. Внаслідок цього, при реєстрації горизонтальних компонент виникає нахил земної поверхні на кут φ , який розраховується за формулою

$$\varphi \cong \frac{dz}{dx} = A \frac{\omega}{V} \sin(\omega t - \frac{\omega}{V} x) \quad (3)$$

Після підстановок і перетворень рівняння маятників запишуться у вигляді

а) для вертикальної компоненти

$$K\theta'' + q\theta' + C\theta = L(-mA\omega^2 \cos \omega t - \frac{2mg_0}{R} A \cos \omega t) + Lm\Delta g(t) \quad (4)$$

б) для горизонтальної компоненти

$$K\theta'' + q\theta' + C\theta = L(-mA\omega^2 \cos \omega t + A \frac{g_0 \omega}{V} \sin \omega t) + Lm g_0 \psi(t) \quad (5)$$

В рівняннях (4) і (5) θ , K і L – відповідно, кут повороту, момент інерції і приведена довжина маятника. Другий і третій члени в лівих частинах цих рівнянь – це момент сил тертя та момент сил компенсації (для вертикального сейсмометра $C\theta = F_k - mg_0$). Перші та другі члени в правих частинах рівнянь – моменти сил інерції та гравітації, спричинених сейсмічною хвилею, а треті – моменти варіацій сили тяжіння по величині і напрямку. Аналіз (4) і (5) показує, що в діапазоні частот від 0,1-10 Гц чутливість обох маятників (по θ) визначається інерційною складовою і яка значно переважає інші сигнали. На частотах менших 0,001 Гц інерційна складова, яка пропорційна ω^2 , зрівнюється з гравітаційним вкладом, який для вертикального маятника не

залежить від частоти, а для горизонтального пропорційний ω . На середніх і високих частотах маятники в сейсмометрах і припливних приладах ведуть себе однаково. Таким чином, система із 2-х сейсмонахиломірів і гравіметра є сейсмометричним комплексом зі столоподібною АЧХ. Виділення необхідної інформації досягається цифровою фільтрацією вихідного сигналу, що не є проблемою.

В сейсмонахиломірах компенсаційний режим роботи з жорстким зворотним зв'язком було впроваджено ще в 80-ті роки 20 століття [Шляховий В.П. 1978, 1980]. Тоді ж, на основі теорії графів були досліджені режими роботи і до мінімуму зведено найбільш значні дестабілізуючі фактори [Шляховий В.П. 1982]. Точність і стабільність нахиломірів в припливному діапазоні піднялась до 0,02%. Там же показано, що потенціальні можливості приладів значно вищі, бо стабільність приладу визначається точністю параметрів контуру зворотного зв'язку, тобто технічним рівнем елементної бази електроніки. В додаток, стало можливим формувати бажану АЧХ приладу в сторону розширення верхньої частоти (до 100Гц) за допомогою компонент в каналі зворотного зв'язку. Подальше удосконалення автокомпенсаційних приладів потребує переходу на сучасну елементну базу і аналітичних та експериментальних досліджень з врахуванням всіх відомих силових факторів. Згадане підвищення точності сейсмодавачів стало можливим лише після введення стабілізуючого зворотного зв'язку як було зроблено в нахиломірах ще в 1977-1982 роках.

Запис сейсмічних подій на припливних приладах. Експериментальна розробка і дослідження нахиломірів зі стабілізуючим зворотним зв'язком виконувалась в ПГО в 1977-1982 роки. Запис нахиломірних даних виконували на самописцях КСП-4 (точність 0,2-0,5%. В цей же час виконувались досліди по реєстрації сейсміки від землетрусів. Наприклад, на швидкій розгортці записано землетрус в Екваторі, $M=8,1$ в 07:59 12.12.1979 р. Тоді спроба налагодити сейсмічні спостереження на нахиломірах не вдалась, бо самописці КСП довго не витримували. В 1992-1997 роки сейсмічні записи на нахиломірах були відновлені за допомогою гальванометричного сейсмореєстриру. Їх порівняння з записами в Центрі спецконтролю (Макаров, Житомир), виявило, що число сейсмічних подій в записах на сейсмонахиломірах майже в 3 рази більше ніж на стандартних сейсмометрах. Цей факт стимулював подальшу розробку проблеми і, коли 2000 роки стали доступні прецизійні 24-бітні АЦП, роботи виконуються на новому рівні [Шляховий, 2007].

Сьогодні реєстрація сейсміки припливними приладами виконується в Полтаві і Судіївці та в Севастополі. Для прикладу, на рис. 1 показано

запис 2-ох невеликих сейсмічних подій біля Полтави (14.05.2010 р., 23:06 і 23:13).

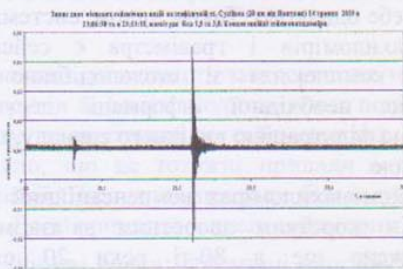


Рис. 1. Ст. Судіївка, автокомпенсаційний сейсмонахиломір Нефільтрований запис землетрусів біля Полтави (14.05.2010 з 23:00-23:30).

На рис. 2 представлено запис землетрусу в Японії з $M=9,0$ після стосекундного НЧ фільтра.

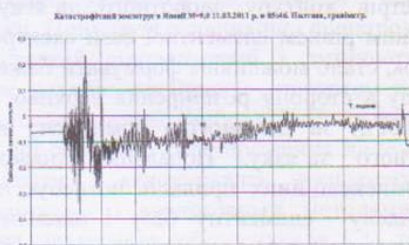


Рис.2. Полтава, гравіметр. Фрагмент запису землетрусу в Японії, що стався 11.03.2011р.

Ця подія призвела до катастрофи на атомній станції Фокусіма. Як видно, після 100 секундного

НЧ-фільтра стали чітко проявлятися хвилі з годинним і півгодинним періодами, тобто вільні коливання Землі.

Висновки. 1. Припливні прилади є широкополосними сейсмометрами і придатні для точних сейсмічних спостережень. 2. Виявлення сейсмічності в регіоні Полтави є дуже важливо для геодинаміки району ДДЗ.

Література

- Чебров В.Н., Воропаєв В.Ф., Дрознін Д.В. и др. Развитие сети цифровых сейсмических станций Камчатки // Геофизический мониторинг Камчатки: Матер. научно-технической конф. 17–18 января 2006г. Петропавловск-Камчатский. 2006. С. 13–20.
- Шляховый В.П. Анализ структурных схем фотоэлектрических наклонномеров с отрицательной обратной связью. – Вращение и приливные деформации Земли, 1978, вып. 10, с.58–63.
- Шляховый В.П. Реакция наклонномеров автокомпенсационного типа на динамические воздействия. – Вращение и приливные деформации Земли, 1980, вып. 12, с.63–68.
- Шляховый В.П. Помехоустойчивость наклонномеров автокомпенсационного типа. – Вращение и приливные деформации Земли, 1982, вып. 14, с.41–46.
- Шляховый В.В. Цифровой сейсмоприливный комплекс Полтавської гравіметричної обсерваторії, технологія спостережень. // Геодинаміка. -2007, 1(6), с. 60–66.

РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ЗЕМНОПРИЛИВНЫМИ ПРИБОРАМИ

В.П. Шляховый, О.В.Кендзера, В.В.Шляховый

Изучается возможность использования приливных устройств для записи сейсмических волн от землетрясений и других геодинамических событий. Исследовано инерционный и гравитационный вклад сейсмического сигнала в маятниковых сейсмометрах и приливных приборах (сейсмонаклономеров и гравиметрах). Это идентичные приборы и отличаются стабильностью узлов и параметрами фильтрации. Приливные приборы чувствительнее в сверхдлгопериодной области, где гравитационный вклад больше. Дано примеры записи сейсмических колебаний приливными приборами при некоторых землетрясениях.

Ключевые слова: сейсмические наблюдения; сейсмометр; гравиметр; сейсмонахиломер; приливы; землетрясения.

REGISTRATION OF SEISMIC SIGNALS BY TIDAL DEVICES

V.P.Shljahovoy¹, O.V. Kendzera², V.V. Shljahovoy

Possibility of use of tidal devices for record of seismic waves from earthquakes and other geodynamic events is studied. It is investigated the inertial and gravitational contribution of seismic signal to pendular seismometers and tidal devices (seismotiltmeter and gravimeter). These are identical devices and differ stability of blocks and in filtration parameters. Tidal devices are more sensitive in over-long-period area where the gravitational contribution is more. It is given examples of record of seismic fluctuations by tidal devices at some earthquakes.

Keywords: seismic observations; seismometer, gravimeter, seismotiltmeter, tide, earthquakes.

¹Полтавська гравіметрична обсерваторія ІГФ НАН України, м. Полтава

²Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Київ