

УДК 550.34

Використання волоконно-оптичних гіроскопів в сейсмології

Странський Ю.А., к.т.н., доц. Шмирьова Л.М.

Вступ

У сейсмології існують проблеми, пов'язані з обмеженими можливостями апаратури для реєстрації сейсмічних сигналів. Відносна довжина сейсмічних хвиль змінюється в залежності від їх швидкості поширення - від декількох метрів до більш ніж 10 000 км, частотний діапазон - від $3 \cdot 10^{-4}$ до сотень герц. Розвиток апаратури для сейсмічних спостережень завжди було направлено, в першу чергу, на розширення частотного і збільшення динамічного діапазонів каналів реєстрації. Протягом останніх років значна кількість землетрусів реєструвалося великими лазерними гіроскопами, встановленими в Німеччині, Новій Зеландії та США. Так як дані інструменти являють собою стаціонарні конструкції зі значними масо габаритними характеристиками, найбільша частина вироблених вимірювань - це реєстрація подій, що сталися на телесеїсмічних відстанях (більше 2000 км). Для проведення досліджень в ближній зоні відстаней до епіцентру землетрусу, а також для оперативних вимірювань в районах підвищеної сейсмічної активності необхідні мобільні пристрої, масогабаритні

характеристики яких можна порівняти зі стандартними сейсмометрами. В даний час нові розробки спрямовані, перш за все, на розширення можливостей застосування сейсмічної апаратури, при цьому також розглядаються питання використання різних сучасних датчиків і реєстраторів в системах збору сейсмічних даних.

Засоби реєстрації сейсмічних хвиль

На сьогоднішній день широко використовуваним еталонним засобом сейсмічних досліджень є високоточний мобільний ширококутовий тривісний сейсмометр STS-2. Він включає в себе 3 ідентичних механічних сенсора, вимірювальні осі яких ортогональні один одному. Вихідним сигналом приладу є величина лінійної швидкості переміщення чутливої маси. Система датчиків розташована в циліндрі діаметром 235 мм і висотою 260 мм. Маса приладу 13 кг. Даний сейсмометр дозволяє проводити вимірювання в смузі частот від 8.33 мГц до 50 Гц.

Сейсмометри є засобами вимірювання лінійних переміщень контрольованої точки в результаті

поширення сейсмічних хвиль. Однак поверхневі хвилі викликають окрім поступальних рухів, ще й обертальні. При появі обертальної складової руху ґрунту відбувається спотворення реєстрованого сейсмометром сигналу. Це пов'язано з тим, що з'являється, по-перше, обертання опорної осі сейсмометра, і, по-друге, з'являється нахил підстави [1]. Отже, необхідно враховувати вплив обертальних рухів при обробці показань сейсмометра. Також варто відзначити, що спільний вимір поступального і обертального рухів дає можливість сейсмологам оцінювати властивості хвильового фронту (фазову швидкість, напрямок поширення). Тому для підвищення точності і розширення можливостей сейсмічних вимірювань необхідно додаткове залучення крім сейсмометрів, приладів, що дають інформацію про обертальної складової руху під час землетрусу.

Спроби вимірювання обертальних рухів, що виникають під час землетрусу

Одним з перших способів вимірювання обертальних рухів, викликаних при землетрусі, стало використання оптичних датчиків кутових

швидкостей, заснованих на ефекті Саньяка, – великих лазерних гіроскопів(ВЛГ).

В процесі експлуатації ВЛГ були помічені короточасні зміни вихідного сигналу, викликані землетрусами [2, 3]. Це відкриття дозволило крім основного завдання ВЛГ - спостереження флуктуацій величини і

орієнтації вектора швидкості обертання Землі - проводити вимірювання обертальних збурень земної кори в точці розташування ВЛГ, викликаних впливом приходячих сейсмічних хвиль.

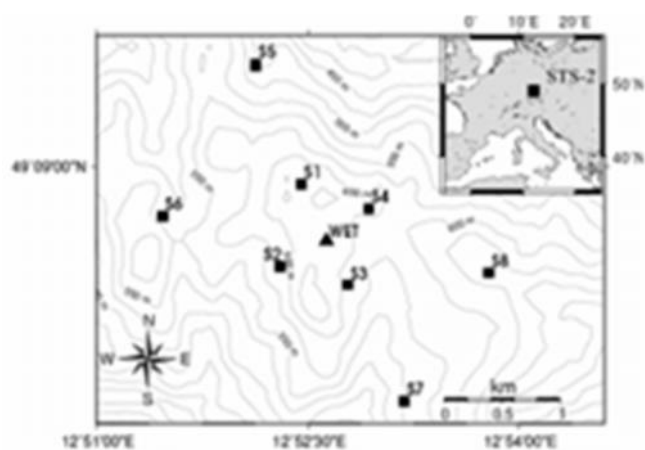


Рис. 1. Розміщення сейсмічної мережі і ВЛГ.

«трикутники» – ВЛГ;

«квадрати» – сейсмометри.

Для підтвердження отриманих спостережень проводився експеримент по реєстрації обертальних рухів, обумовлених землетрусами, з використанням ВЛГ і сейсмічної мережі [4]. Використовувалися ВЛГ, встановлені на геодезичній станції Wettzell, Південно-Східної Німеччини, яка розташована навколо мережі із 8 стандартних сейсмометрів (S1-8) і одного широкосмугового сейсмометра STS-2.

Результати проведеного експеримента показали, що сигнали сейсмометрів і ВЛГ корельовані і максимальний коефіцієнт кореляції становить 0.94% (рис. 2). При цьому похибка у вимірах сейсмометром

лінійної швидкості через вплив обертальної складової руху знаходиться на рівні 5% при віддалених землетрусах і зростає з наближенням до епіцентру землетрусу, досягаючи 20-30%.

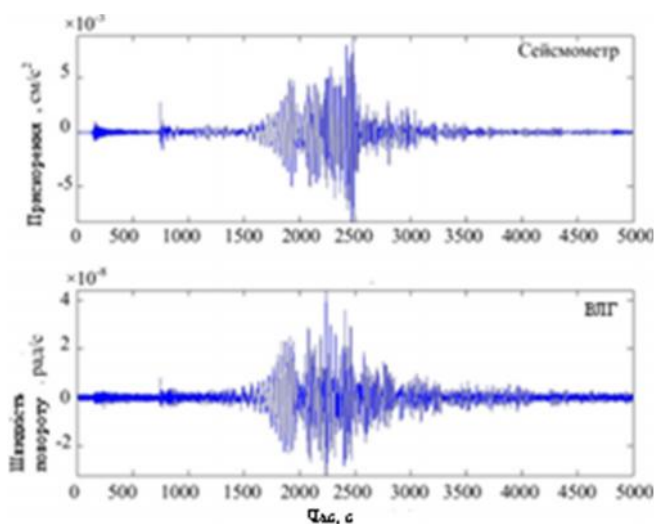


Рис. 2. Результати експерименту при землетрусі в Хокайдо

Таким чином, отримані дані підтвердили необхідність вимірювання обертальних рухів, що виникають під час землетрусу, і стимулювали створення сейсмовимірювальної мобільної системи.

Мобільна вимірювальна система на базі сейсмометра і ВОГ

Представлений варіант мобільної системи на основі сейсмометра і тріади ВОГ, що забезпечує вимірювання сигналів по трьом ортогональних осях (рис. 3).

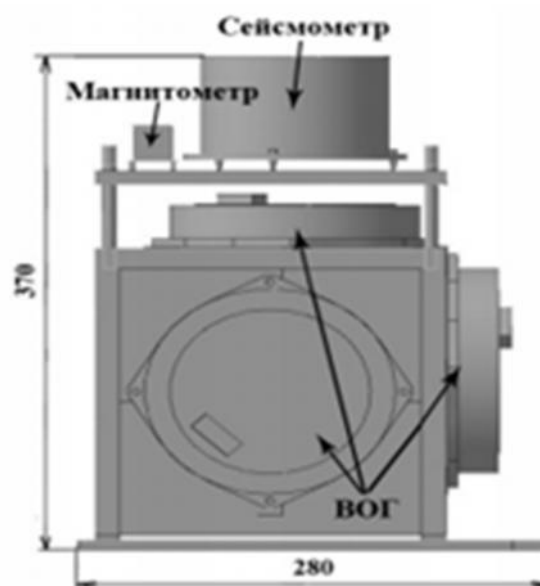


Рис. 3. Зовнішній вигляд мобільної вимірювальної системи

Спільне використання таких приладів дозволяє визначати дві складові сейсмічного руху (лінійну і обертальну), і крім того здійснювати корекцію показань сейсмометра, схильного до впливу гравітаційного поля Землі при зміні кута нахилу підстави. Склад мобільної вимірювальної системи показаний на рис. 3. Крім сейсмометра і тріади ВОГ використовується також рекордер і тривісний магніторезистивний датчик. Останній необхідний для контролю магнітної обстановки при експлуатації приладів, а також є джерелом даних при установці системи [2]. Показання всіх датчиків надходять в реальному часі на рекордер, далі - на комп'ютер, де здійснюється обробка інформації з метою вироблення кутових і лінійних параметрів сейсмічних коливань, а також розрахунку коригувань для сейсмометра.

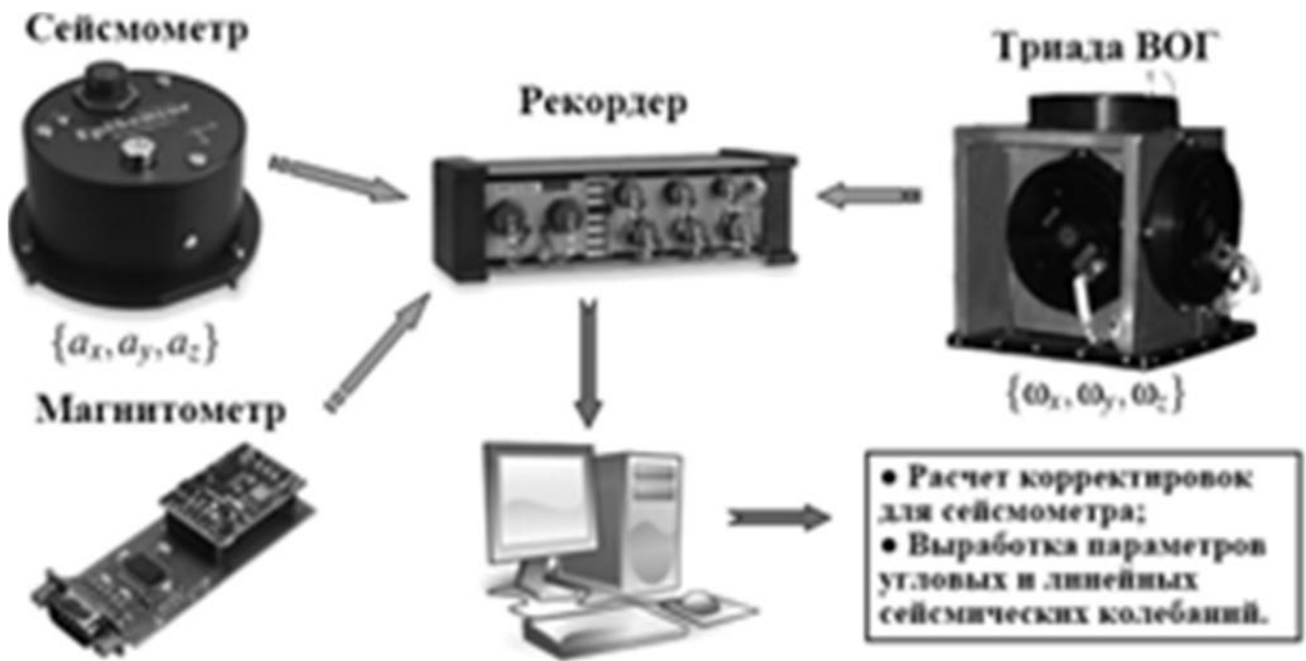


Рис. 4. Склад мобільної вимірювальної устновки

Алгоритм роботи мобільного вимірювальної системи

Алгоритм роботи системи представлений у вигляді блок-схеми (рис.5). Управління аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) виконується тактовим генератором приймача сигналів супутникової навігаційної системи (СНС), за допомогою якого здійснюється прив'язка вихідних даних всіх приладів до світового часу.

Початкове положення пристроїв визначається кутами K_0, ψ_0, θ_0 , характеризує орієнтацію системи координат, пов'язаних з мобільним засобом (xyz), щодо географічної топоцентричної системи координат ($\xi\eta\zeta$). Вироблення поточної інформації про кути орієнтації (K, ψ, θ) вимірюного засобу проводиться за показаннями триади ВОГ з урахуванням знання проєкцій переносної кутової швидкості

географічного тригранника (u_x, u_y, u_z) Проекції переносної кутової швидкості на осі географічного тригранника обчислюються в «Блоці вироблення u_ξ, u_η, u_ζ » При цьому використовуються дані, що виробляються СНС.

Перемикаючий пристрій являє собою «ковзне вікно», яке здійснює порівняння поточного середнього відхилення вихідного сигналу сейсмометра з деяким заданим, що характеризує незбурений сигнал. При певній відмінності цих величин відбувається ідентифікація сейсмічної події і спрацьовує перемикач. Далі сигнали від трьохосового сейсмометра спільно з інформацією про кутове положення надходять на блок B^{-1} , де здійснюється корекція показань сейсмометра - проводиться «повернення» системи координат xyz в початкове положення відносно $\xi\eta\zeta$.

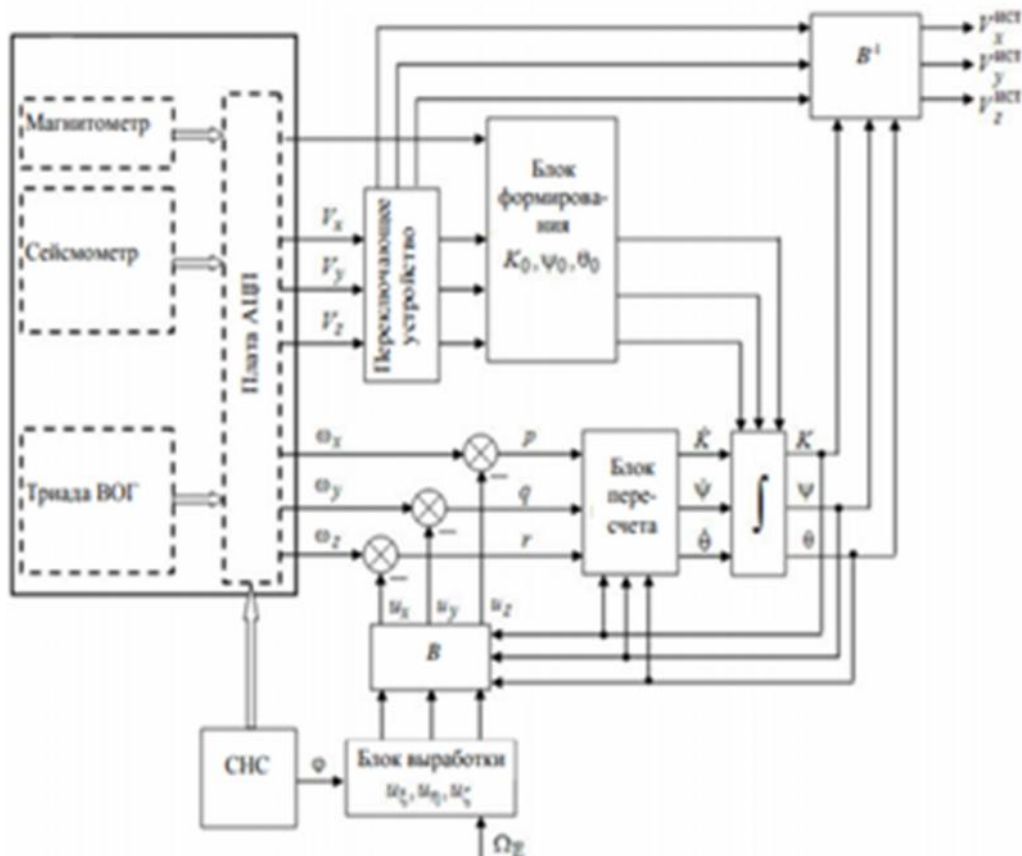


Рис. 5. Блок-схема мобільної вимірювальної установки

Завдання експериментальних досліджень

Завданнями експериментальних досліджень є: визначення порогу чутливості ВОГ, уточнення характеристик сейсмометра, реалізація алгоритму роботи системи в режимі кутових коливань і корекції показань сейсмометра. Для їх вирішення заплановані випробування системи на спеціалізованому стенді УСГ-3М. Він призначений для відтворення параметрів лінійних і кутових вібраційних процесів: лінійного

переміщення, швидкості і прискорення в горизонтальній площині, а також кутового переміщення у вертикальній площині. Установка може бути використана для калібрування, метрологічної атестації, перевірки та дослідження різноманітних високочутливих засобів вимірювань: віброметрів, сейсмометрів, лінійних і кутових акселерометрів, нахиломірів і ін. Основні характеристики стенду представлені в таблиці.

Параметр	Розмірність	Значення
Діапазон частот: відтворення лінійних параметрів вібраційних процесів	Гц	0,001 – 30

відтворення кутових параметрів вібраційних процесів		0,001 – 0,5
Діапазон амплітуди лінійних переміщень	мм	10^{-3} - 10
Діапазон амплітуди лінійних переміщень	рад	10^{-7} – 10^{-3}
Діапазон амплітуди лінійних переміщень	м/с ²	$5 \cdot 10^{-3}$ - 2
Розміри робочої поверхні	см	30x30
Максимальна маса навантаження	кг	40

Висновок

У роботі описана розроблена мобільна система на волоконно-оптичних гіроскопах для реєстрації сейсмічних коливань в ближній зоні відстаней від епіцентру землетрусу, наводяться її опис і блок-схема алгоритму роботи. Така система дозволяє отримувати повну інформацію по сейсмічному збуренні за рахунок вимірювання лінійного і кутового компонент руху, а також дані про нахил підстави при землетрусах, що в свою чергу дозволяє проводити коригування вихідних сигналів сейсмометра.

Мобільна вимірювальна система на ВОГ має практичну важність не тільки для вивчення причин і процесів землетрусів. Іншою областю її застосування може стати інженерна сейсмологія [4]. Забезпечення надійності висотних споруд при вітрових і сейсмічних впливах є складним завданням. Успішне її рішення багато в чому залежить від раннього виявлення можливості обвалення будівель під впливом

природно-техногенних впливів. Для цього необхідно проводити систематичний контроль напружено-деформованого стану їх несучих конструкцій. Подальші дослідження спрямовані на визначення порогу чутливості ВОГ, вироблення рекомендацій щодо проведення динамічної процедури їх калібрування в режимі квазігармонійних коливань і апробацію розробленої системи в цілому.

Література

1. Graizer V.M. Effect of tilt on strong motion data processing, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 197–204, 2005
2. Маргелов, А. Модульные и многокомпонентные магниторезистивные датчики и компасы HONEWELL // Новости электроники. Часть II. – выпуск №12, 2006. – С. 15-18.
3. Олейник, Л.Н. Использование волоконно-оптических гироскопов в сейсмологии/ Л.Н.

Олейник, А.Н. Ткаченко //
Материалы X конференции
молодых ученых «Навигация и
управление движением». - СПб,
2009. - С. 81-86.

4. Олейник, Л.Н. Результаты
экспериментальных
исследований триады
волоконно-оптических

гироскопов в задачах
сейсмологии / Л.Н. Олейник,
А.Н. Ткаченко, Д.П. Топал //
Материалы XI конференции
молодых ученых «Навигация и
управление движением». - СПб,
2010. - С. 103- 110.