

Гузенко В.А., Неклонский И.М.

Математическая модель формирования системы взаимодействия подразделений разного подчинения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

Построена математическая модель формирования системы взаимодействия подразделений разного подчинения при возникновении чрезвычайных ситуаций с помощью непрерывной марковской цепи

Ключевые слова: взаимодействие, система взаимодействия

Guzenko V.A., Neklonsky I.M.

Mathematical model of the formation of interaction different subordination in the aftermath of emergencies

A mathematical model of the interaction of various subordinate units during emergencies through continuous Markov chain

Key words: interaction, system interaction

УДК 550.34.034

Дяченко Д.В., канд. техн. наук, доц., НУЦЗУ,

Росоха С.В., д-р техн. наук, проф., НУЦЗУ,

Солонець О.І., канд. техн. наук, пров. наук. співр., ХУПС,

Самарін В.О., викл., НУЦЗУ

**НАПРЯМКИ РОЗРОБКИ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД
ОБРОБКИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ДАНИХ СЕЙСМІЧНИХ
ЗАСОБІВ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

У роботі визначені основні напрямки розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру, які дозволять підвищити ефективність застосування мережі сейсмічних спостережень Головного центру спеціального контролю.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, фактор небезпеки, моніторинг, сейсмічний сигнал, мережа сейсмічних спостережень

Постановка проблеми. Запобігання надзвичайним ситуаціям (НС), оперативна ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків є загальнодержавною

Напрямок розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій

проблемою і одним з найважливіших завдань органів влади та управління всіх рівнів.

Постановою Кабінету Міністрів України від 9 січня 2014 р. №11 затверджено положення про єдину державну систему цивільного захисту (ЄДСЦЗ). Повнота та якість виконання завдань, що стоять перед ЄДСЦЗ, безпосередньо залежать від своєчасного одержання інформації про НС та їх наслідки.

Забезпечення оперативного та дистанційного одержання інформації про НС на території України та суміжних держав, факторами безпеки яких є сейсмічні збурення, здійснює Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України.

Однак на даний час залишається не вирішеною задача розробки теоретичних основ виявлення факторів безпеки надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру сейсмічними засобами ГЦСК.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [1] визначено показники функціональної ефективності засобів ГЦСК при використанні їх в якості інформаційних елементів СМПЗ НС у забезпеченні рішення завдань, пов'язаних з моніторингом НС. Робота [2] дозволяє проаналізувати особливості створення системи моніторингу НС, яка складається з контактних та дистанційних підсистем моніторингу існуючих та потенційних джерел НС. В роботах [3-6] проведені дослідження, що можуть бути покладені в основу прогностичних спостережень, які виконуються ГЦСК в інтересах інформаційного забезпечення системи моніторингу, прогнозування і запобігання (СМПЗ) НС.

Питанням сейсмічного моніторингу та обробки інформації сейсмічних засобів ГЦСК присвячена низка робіт [3-10]. Однак більшість запропонованих підходів спрямовані на вирішення окремих задач, потребують попередньої обробки сигналів та використовуються, як правило, для уточнення параметрів сейсмічного джерела. Крім того намір покращити певний показник неодмінно призводить до погіршення ефективності визначення іншого.

Постановка завдання та його вирішення. Метою статті є визначення основних напрямків розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів безпеки надзвичайних ситуацій.

Інформацію про НС Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України отримує за допомогою Мережі сейсмічних спостережень (МСС). МСС ГЦСК включає трикомпонентні сейсмічні станції (ТКСС), систему сейсмічного групування (ССГ), яка увійшла до Міжнародної мережі сейсмічного моніторингу як станція PS45 та Національний центр даних.

Комплексне використання сейсмічних засобів та методів обробки вимірювальних даних дозволяє виявити джерело сейсмічних збурень за результатами обробки як на окремому пункті спостереження, так і МСС в цілому, оцінити основні параметри джерела – час події, місцеположення осередку, глибину та магнітуду (потужність).

Однак, автоматична локація сейсмічної події та визначення її параметрів при використанні сейсмічного методу потребує значного часу. Так для Міжнародної системи моніторингу [11] при використанні результатів реєстрації мережі первинних станцій час надання попередньої інформації становить 1 годину. Час надання даних про сейсмічну подію за даними первинної та допоміжної мережі становить 10 годин. Остаточна інформація про сейсмічну подію надається протягом 48 годин після її виявлення.

Нерівномірність розташування МСС ГЦСК на території України (рис. 1) обмежують можливості застосування наведених підходів, а нарощення мережі вимагає значних фінансових витрат. Тому доцільною є розробка методів обробки вимірювальних даних в автоматичному режимі для окремих ТКСС.



Рис. 1 – Мережа сейсмічних спостережень ГЦСК

На даний час обробка вимірювальних даних ТКСС здійснюється з використання апарату поляризаційного аналізу (ПА) та поляризаційної фільтрації (ПФ) [8,13], які мають ряд недоліків.

ПА ділянки сейсмічного запису дозволяє чисельно оцінити еліптичність коливань ґрунту та оцінити їх параметри. Виявлення сейсмічних сигналів з використання апарату ПА застосовується у постоперативному режимі при наявності априорної інформації про наявність сигналу та вимагає значних обчислювальних затрат.

В свою чергу, апарат ПФ сейсмічних даних також використовується лише для обробки даних у постоперативному режимі. Крім того, при вирішенні завдань безперервного моніторингу ПД НС не виключений вплив сейсмічних джерел з близькими кутовими характеристиками, що може привести до помилкового рішення про місцеположення осередку НС.

Таким чином, потребують удосконалення існуючі та необхідна розробка нових методів обробки вимірювальних даних ТКСС.

Одним з напрямків підвищення ефективності обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів є врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу, що дозволить здійснювати локацію джерела сейсмічних збурень за результатами спостережень як окремою ТКСС, так і МСС в цілому. При цьому необхідно враховувати, що час отримання вимірювальних даних, необхідний для виявлення факторів небезпеки НС сейсмічними засобами та визначення її параметрів обмежено часом надходження *S*-хвилі для ТКСС та часом надходження першої складової *P*-хвилі до пунктів спостереження МСС.

Іншим напрямком підвищення ефективності обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки НС є розробка методів, які дозволять здійснювати безперервний моніторинг ПД НС, використовуючи методи оптимального виявлення, а також враховуючи динамічні (поляризація) та кінематичні (час розповсюдження) особливості складових сейсмічного сигналу.

За результатами сейсмічних спостережень ТКСС стан підконтрольного ПД НС можна визначити функціоналом

$$F(t) = \Omega(\alpha_p, \gamma_p, \alpha_s, \gamma_s, t - \tau_{ps}), \quad (1)$$

де α_p, γ_p – очікуваний азимут та кут виходу першої складової сейсмічного сигналу (P -хвилі) на денну поверхню, які визначаються положенням ПД НС відносно пункту спостереження; α_s, γ_s – очікуваний азимут та кут виходу S -хвилі на денну поверхню, які визначаються за умови ортогональності до очікуваного напрямку приходу P -хвилі; τ_{ps} – різниця часу між вступами складових сейсмічного сигналу, яка визначається за допомогою годографа.

Рішення про встановлення факту сейсмічної події у підконтрольному районі приймається у випадку перевищення порогу значення вирішальної функції.

Реалізація зазначеного підходу дозволить підвищити оперативність оповіщення про НС у підконтрольних районах. Іншою перевагою даного підходу є те, що його використання не потребує наявності попередньої інформації про форму сейсмічного сигналу.

Крім того, аналіз варіацій значення функції $F(t)$ може бути застосовано при вирішенні завдань завчасного виявлення змін стану сейсмоактивних зон (САЗ), з метою виявлення активізації процесів підготовки землетрусу.

Обробка даних ССГ полягає в перевірці гіпотез про ймовірне джерело сейсмічної хвилі для певних районів Земної кулі [12], або ж у формуванні діаграми спрямованості ССГ на дані райони [3, 4]

$$S(\lambda, \phi) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} \left| \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i (T_0 + \tau_i(\lambda, \phi) + t) \right| dt, \quad (2)$$

де λ та ϕ – широта та довгота умовного центру району Земної кулі, включеного до моніторингу ССГ; T_0 – початок сигнальної функції; ΔT – тривалість сигнальної функції; k – кількість елементів ССГ; y_i – елемент часового ряду, утвореного сейсмічним процесом, який відповідає зміщенню ґрунту на i -тому сейсмоприймачі ССГ; $\tau_i(\lambda, \phi)$ – елемент матриці затримок, який залежить від координат підконтрольного району (λ, ϕ), швидкості сейсмічної хвилі та визначається з рішення зворотної геодезичної задачі.

Основними недоліками існуючих алгоритмів обробки вимірювальних даних ССГ є значна кількість обчислюваль-

Напрямки розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій

них операцій, як для пошуку району, для якого перевищено значення порогу, так і для пошуку ділянки в межах району, для якого вирішальна функція приймає максимальне значення, а також обмеження магнітудної чутливості. Підвищення магнітудної чутливості шляхом зменшення порогу призводить до збільшення кількості хвильових фрагментів, які вилучатимуться алгоритмом для подальшої обробки, що може призвести до зриву виконання завдань у реальному часі. Зменшення кількості обчислювальних операцій може бути досягнуто шляхом збільшення розмірів ділянок в межах району для пошуку максимального значення вирішальної функції, однак це призводить до зменшення точності визначення координат осередку події.

Крім того, можливості моніторингу сейсмічної обстановки для ближньої зони обмежено зоною формувань характеристик вибіркості ССГ, яка перекриває центральні, північні та частину південно-західних регіонів України [4].

Основним напрямком застосування ССГ при вирішенні завдань виявлення факторів небезпеки НС є реалізація безперервного моніторингу ПД НС природнього (САЗ) та техногенного (вибухонебезпечні об'єкти) походження. Реалізація такого моніторингу дозволить підвищити магнітудну чутливість ССГ, виявляти зміни стану ПД НС та оперативно виявляти факт НС. Для виключення впливу інших джерел сейсмічних збурень, які неодмінно потраплятимуть до меж формування характеристик вибіркості ССГ, необхідне врахування особливостей форми сейсмічного сигналу [14].

Ідентифікація природи сейсмічного джерела є однією з ключових проблем сейсмічного моніторингу. Можливість відрізнити сейсмічний запис вибуху від запису землетрусу базується на ряді характеристик цих джерел, таких як механізм, розміри, час дії та глибина. Відомі способи ідентифікації природи сейсмічного джерела враховують напрямок першого руху, відношення амплітуд P - та S -хвиль, місцезнаходження осередку, відмінності в спектральному складі сигналу тощо [10].

Недостатня щільність МСС ГЦСК ускладнює ідентифікацію природи сейсмічного джерела за існуючими критеріями. Крім того, розробка методологічних засад щодо ідентифікації природи сейсмічного сигналу в автоматичному режимі за існуючими критеріями ускладнена тим, що для надійної

ідентифікації необхідно вирішувати додаткові задачі – визначення напрямку першого вступу, визначення типів сейсмічних хвиль тощо.

Одним з основних критеріїв ідентифікації природи сейсмічного джерела, який використовується на даний час, є відмінності спектрального складу запису сейсмічних сигналів від землетрусів та вибухів [10,11]. Критерієм оцінки кількісної відмінності є відношення сум спектральних амплітуд $A(f)$ у високочастотному ($h_1 - h_2$) та низькочастотному ($w_1 - w_2$) інтервалах

$$\Theta = \int_{h_1}^{h_2} A(f) df / \int_{w_1}^{w_2} A(f) df. \quad (3)$$

Проте досить часто мають місце випадки, коли спектрограми сейсмічних сигналів від сигналів різного походження не мають чітких відмінностей, що призводить до помилкового рішення щодо природи сейсмічного джерела.

Крім того, зазначений підхід не враховує особливості спектрального складу фонові обстановки в районі розташування пункту спостереження.

Тобто, задача оперативного та своєчасного виявлення факторів небезпеки НС сейсмічними засобами вимагає додатково розробки методів автоматичної обробки сигналу з метою проведення швидкої та точної ідентифікації природи сейсмічного явища.

Висновки. Таким чином, для ефективного використання МСС ГЦСК в якості інформаційних елементів СМПЗ НС потребує подальшого вирішення задача розробки теоретичних основ виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру сейсмічними засобами ГЦСК.

Основними напрямками розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій є:

- здійснення безперервного моніторингу ПД НС окремими ТКСС та ССГ ГЦСК з метою своєчасного виявлення змін їх стану та оперативного встановлення факту НС;

- виявлення сейсмічних збурень за результатами спостережень ТКСС з урахуванням динамічних та кінетичних особливостей складових сейсмічного сигналу;
- врахування особливостей форми сейсмічного сигналу при формуванні характеристик вибіркової ССГ;
- врахування амплітудно-частотних відмінностей сигналів різної природи та особливостей сейсмічного фону в районі розташування МСС ГЦСК при ідентифікації природи сейсмічного джерела за результатами обробки сейсмічних даних у автоматичному режимі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрощук Р.А. Мережа геофізичних спостережень ГЦСК як інформаційний сегмент системи моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.А. Андрощук, І.В. Толчонов, Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець // Системи управління, навігації та зв'язку : зб. наук. пр. – К.: ЦНДІ НіУ, 2011. – Вип. 2 (18). – С. 281-283.
2. Абрамов Ю.А. Основные требования к созданию системы мониторинга чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюнник, Р.И. Шевченко // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 6 (46). – С. 203-207.
3. Гордієнко Ю.О. Моніторинг сейсмонебезпечних районів засобами сейсмічного групування / Д.В. Голкін, О.І. Солонець, О.С. Бутенко, Ю.О. Гордієнко // Системи обробки інформації : зб. наук. пр. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 8(36). – С. 67-70. сейсмічного сигналу від джерел в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, Ю.А. Андрущенко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 27-31.
4. Гордієнко В.О. Виявлення сейсмічних сигналів та визначення кутових характеристик їх джерел за результатами поляризаційної фільтрації / В.О. Гордієнко, Ю.О. Гордієнко, В.А. Кирилюк // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 1 (52). – С. 67-71.
5. Андрущенко Ю.А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини

- України / Ю.А. Андрущенко, Ю.О. Гордієнко // Геофізичний журнал. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 121-129.
6. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров – М., Саранск : Тип. "Крас. Окт.", 2005. – 420 с.
 7. Дядюра В.А. Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств / В.А. Дядюра, И.Ю. Михайлик, А.В. Пененко и др. // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 70-77.
 8. Гордиенко Ю.А. Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне / Ю.А. Гордиенко, А.И. Солонец, И.Н. Сащук, В.Н. Шапка // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 130-141.
 9. Гордієнко Ю.О. Особливості активізації сейсмічних процесів сейсмонебезпечного району Вранча / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, В.А. Кирилюк, Р.А. Андрошук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. – Ж.: ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 125-130.
 10. Гордієнко Ю.О. Сучасні інформаційно-комп'ютерні технології та мережа сейсмічних спостережень ГЦСК щодо упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, В.М. Каплаушенко // Вісник ЖДТУ. – 2006. – № 3 (38). – С. 61-78.
 11. Обработка геофизических сигналов у современных автоматизированных комплексах : Навч. посібник / М.Ф. Пічугін, О.А. Машков, В.А. Кирилюк та ін. – Ж.: ЖВІРЕ, 2006. – 178 с.
 12. Гордієнко Ю.О. Автоматична ідентифікація об'ємних хвиль за результатами аналізу кутових характеристик / В.А. Дядюра, И.Ю. Михайлик, А.В. Пененко и др. // Геофизический журнал. – 2000. – Т. 22, № 3. – С. 70-77.
 13. Александров С.И. Поляризационный анализ сейсмических волн. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 142 с.
 14. Гордієнко Ю.О. Оцінка характеристик вибіркової системи сейсмічного групування при врахуванні форми сейсмічного сигналу / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, І.В. Толчонов, В.О. Гордієнко. – Системи обробки інфор-

мації : зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 6(87). – С. 264-266.

Дяченко Д.В., Росоха С.В., Солонец А.И., Самарин В.А.

Направления разработки методологических основ обработки измерительных данных сейсмических средств для выявления факторов опасности чрезвычайных ситуаций

В работе определены основные направления разработки методологических основ обработки измерительных данных сейсмических средств для выявления факторов опасности чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, которые позволят повысить эффективность применения сети сейсмических наблюдений Главного центра специального контроля

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, фактор опасности, мониторинг, сейсмический сигнал, сеть сейсмических наблюдений

Djachenko D.V., Rosokha S.V., Solonets A.I., Samarin V.O.

Basic directions of methodological bases development of measurings data processing of seismic facilities for the exposure of danger factors

Basic directions of methodological bases development of measurings data processing of seismic facilities for the exposure of danger factors of technogenic and natural character extraordinary situations are certain, which will allow to promote efficiency of application of seismic supervisions network of the Main center of the special control

Key words: extraordinary situation, danger factor, monitoring, seismic signal, network of seismic supervisions