

УДК 550.34.034

В.М. Ващенко¹, І.В. Толчонов², Ю.О. Гордієнко², О.І. Солонець³¹ Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ² Головний центр спеціального контролю, Макарів-1³ Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ СЕЙСМІЧНИМИ ЗАСОБАМИ

Визначено місце мережі сейсмічних спостережень Головного центру спеціального контролю в системі інформаційного забезпечення єдиної системи цивільного захисту. Проведено аналіз існуючих методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів. 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.

Вступ

Постановка проблеми. Запобігання надзвичайним ситуаціям (НС), оперативна ліквідація їх наслідків, максимальне зниження масштабів втрат та збитків є загальнодержавною проблемою і одним з найважливіших завдань органів влади та управління всіх рівнів.

Україна має високі показники рівня потенційної небезпеки виникнення техногенних аварій та катастроф, які можуть мати серйозні екологічні та соціальні наслідки. В Україні функціонує близько 14,5 тисяч потенційно небезпечних підприємств та інших об'єктів, стан близько тисячі з них може призвести до виникнення НС державного та регіонального рівня [1]. Крім техногенних НС, державі постійно доводиться стикатись з ліквідацією наслідків природних явищ, прогнозувати та протистояти яким досить складно.

Щорічно в Україні виникають НС природного та техногенного характеру, які призводять до загибелі людей і значних матеріальних збитків. Але при здійсненні певних організаційно-технічних заходів щодо запобігання НС, оперативної ліквідації їх наслідків, максимального зниження масштабів втрат та збитків можливо зменшити руйнівні наслідки НС техногенного та природного характеру.

На виконання зазначених заходів Концепцією Загальнодержавної цільової програми розвитку цивільного захисту на 2009 – 2013 роки [1] передбачено створення єдиної системи цивільного захисту (ЄСЦЗ), системи моніторингу, прогнозування і запобігання (СМПЗ) НС. Основною складовою якісного виконання завдань, що стоять перед ЄСЦЗ, є своєчасне одержання інформації про НС та їх наслідки.

Забезпечення оперативного та дистанційного одержання інформації про НС на території України

та суміжних держав, факторами небезпеки яких є сейсмічні збурення, здійснює Головний центр спеціального контролю (ГЦСК) Державного космічного агентства України.

ГЦСК є одним з інформаційних сегментів СМПЗ НС, який через Національну систему сейсмічних спостережень та Урядову інформаційно-аналітичну систему з питань надзвичайних ситуацій здійснює інформаційне забезпечення ЄСЦЗ інформацією про сейсмічну обстановку на території України та суміжних держав [2].

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

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [2] визначено показники функціональної ефективності засобів ГЦСК при використанні їх у якості інформаційних елементів СМПЗ НС у забезпеченні рішення завдань, пов'язаних з моніторингом НС. Робота [3] дозволяє проаналізувати особливості створення системи моніторингу НС, яка складається з контактних та дистанційних підсистем моніторингу існуючих та потенційних джерел НС. В роботах [4 – 7] проведені дослідження, що можуть бути покладені в основу прогностичних спостережень, які виконуються ГЦСК в інтересах інформаційного забезпечення СМПЗ НС.

Питанням сейсмічного моніторингу та обробки інформації сейсмічних засобів ГЦСК присвячена низка робіт [4 – 11]. 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.

Формулювання мети статті. Метою статті є визначення основних напрямків розробки методологічних засад обробки вимірювальних даних сейсмічних засобів для виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій.

Виклад основного матеріалу дослідження

Мережа сейсмічних спостережень (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. Місце МСС ГЦСК в СМПЗ НС, в рамках виконання завдань інформаційного забезпечення ЄСЦЗ щодо моніторингу потенційних джерел (ПД) НС – потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) та сейсмоактивних зон (САЗ), наведено на рис. 1.



Рис. 1. Місце МСС ГЦСК в системі моніторингу

Виявлення факторів небезпеки НС природного або техногенного характеру сейсмічними засобами являє собою комплекс методів обробки вимірювальних даних сейсмічного методу. Даний комплекс у сукупності дозволяє виявити джерело сейсмічних збурень за результатами обробки на окремому пункті спостереження та МСС в цілому, оцінити основні параметри джерела – час події, місцеположення осередку, глибину та магнітуду (потужність).

На даний час основна тенденція виявлення сейсмічної події у автоматичному режимі полягає у використанні відносно простих процедур обробки вимірювальних даних, таких як, наприклад, алгоритм STA/LTA [12 – 13], які дозволяють оперативно здійснювати аналіз даних.

Автоматична локація сейсмічної події та визначення її параметрів при використанні зазначеного підходу потребує значного часу. Так для Міжнародної системи моніторингу [12] 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.

Обмеженість МСС ГЦСК та нерівномірність її розташування на території України обмежують можливості застосування наведених підходів, а розширення мережі вимагає значних фінансових затрат. Тому окрім системного аналізу результатів реєстрації МСС доцільною є розробка методів обробки вимірювальних даних в автоматичному режимі для окремих ТКСС.

На даний час основними напрямками щодо обробки вимірювальних даних ТКСС є використання апарату поляризаційного аналізу (ПА) та поляризаційної фільтрації (ПФ) [9, 14].

ПА ділянки сейсмічного запису дозволяє чисельно оцінити еліптичність коливань ґрунту та оцінити їх параметри. Виявлення сейсмічних сигналів з використання апарату ПА вимагає значних обчислювальних затрат та застосовується у постоперативному режимі при наявності апріорної інформації про наявність сигналу. Процедура ПФ полягає у перерахунку запису вимірювальних даних ТКСС на певний напрямок:

$$p_i(\alpha, \gamma) = g_i \cdot G^{\alpha\gamma} \cdot G_1 \cdot G_2, \quad (1)$$

де g_i – поточне значення зміщення ґрунту на каналах ТКСС $g_i = (x_i, y_i, z_i)$; $G^{\alpha\gamma}$ – напрямком, для якого проводиться ПФ; G_1 – коефіцієнт лінійності ($0 < G_1 < 1$) прийнятої реалізації трикомпонентного запису; G_2 – значення кута між положенням у просторі великої півосі еліпсоїду a та напрямком, для якого здійснюється ПФ.

G_1 визначається як:

$$G_1 = 1 - \frac{b}{a}, \quad (2)$$

де b та a – відповідно значення малої та великої півосі еліпсоїду, які визначаються за результатом ПА.

Однак апарат ПФ сейсмічних даних використовується в даний час лише для обробки даних у постоперативному режимі. Крім того, при вирішенні завдань безперервного моніторингу ПД НС не виключений вплив сейсмічних джерел з близькими кутами 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, заснованих на врахуванні динамічних (поляризація, амплітуда та частота) та кінематичних (час розповсюдження) складових сейсмічного сигналу [9 – 10], що дасть змогу підвищити ефективність функціонування окремих пунктів спостереження та МСС в цілому.

Врахування поляризаційних властивостей складових сейсмічного сигналу 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 Р-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:

$$F(t) = \Omega(\alpha_p, \gamma_p, \alpha_s, \gamma_s, t - \tau_{ps}), \quad (3)$$

де α_p, γ_p – очікуваний азимут та кут виходу першої складової сейсмічного сигналу (Р-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 Р-хвилі; τ_{ps} – різниця часу між вступами складових сейсмічного сигналу, яка визначається за допомогою годографа.

Встановлення факту сейсмічної події у підконтрольному районі визначається у випадку перевищення порогу значення вирішальної функції.

Реалізація такого підходу дозволить підвищити магнітудну чутливість та оперативність оповіщення про НС у підконтрольних районах або на ПНО. 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 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 [13], або ж у формуванні діаг-

рами спрямованості ССГ на дані райони [4 – 5]:

$$S(\lambda, \varphi) = \frac{1}{\Delta T} \int_{T_0}^{T_0 + \Delta T} \left| \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i (T_0 + \tau_i(\lambda, \varphi) + t) \right| dt, \quad (4)$$

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 -му сейсмоприймачі ССГ; $\tau_i(\lambda, \varphi)$ – 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 обчислювальних 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 формування характеристик вибіркості ССГ, яка перекриває центральні, північні та частину південно-західних регіонів України [5].

Основним напрямком застосування ССГ при вирішенні завдань виявлення факторів небезпеки НС є реалізація безперервного моніторингу ПД НС природного (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 [15].

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 Р- та S-хвилі, місцезна-

ходження осередку, відмінності в спектральному складі сигналу тощо [11].

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 напряму 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 [11 – 12]. Критерієм оцінки кількісної відмінності є відношення сум спектральних амплітуд $A(f)$ у високочастотному ($h_1 - h_2$) та низькочастотному ($w_1 - w_2$) інтервалах:

$$\Theta = \frac{\int_{h_1}^{h_2} A(f) df}{\int_{w_1}^{w_2} A(f) df}. \quad (5)$$

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 (рис. 2, 3).

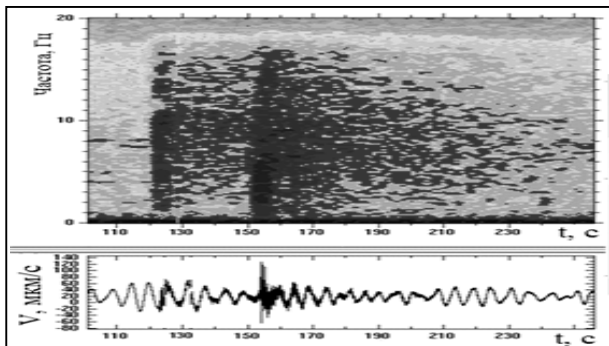


Рис. 2. Спектрограма сейсмічних сигналів, зареєстрованих ТКСС "Ворсівка" від землетрусу в Вінницькій обл.

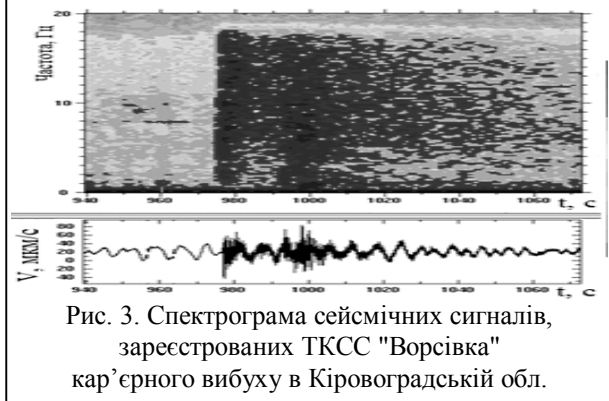


Рис. 3. Спектрограма сейсмічних сигналів, зареєстрованих ТКСС "Ворсівка" кар'єрного вибуху в Кіровоградській обл.

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

Тобто, задача оперативного та своєчасного виявлення факторів небезпеки надзвичайних ситуацій 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 вибірконості 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.

Список літератури

1. Концепція Загальнодержавної цільової програми розвитку цивільного захисту на 2009-2013 роки : схвалено розпорядженням Каб. Мін. України від 20 серпня 2008 р. N 1156-р [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=1156-2008-%F0>.

2. Андрущук Р.А. Мережа геофізичних спостережень ГЦСК як інформаційний сегмент системи моніторингу надзвичайних ситуацій / Р.А. Андрущук, І.В. Толчонов, Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець // Системи управління, навігації та зв'язку: зб. наук. пр. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – Вип. 2 (18). – С. 281-283.

3. Абрамов Ю.А. Основные требования к созданию системы мониторинга чрезвычайных ситуаций / Ю.А. Абрамов, В.В. Тютюник, Р.И. Шевченко // Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 6 (46). – С. 203-207.

4. Голкін Д.В. Мониторинг 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.

5. Гордієнко Ю.А. Избирательные характеристики Украинской сейсмической группы при мониторинге сейсмоопасных районов в ближней зоне / Ю.А. Гордієнко, А.И. Солонец, И.Н. Сацук, В.Н. Шапка // Збірник наукових праць ЖВІРЕ. – Ж.: ЖВІРЕ, 2004. – Вип. 8. – С. 130-141.

6. Гордієнко Ю.О. Особливості активізації сейсмічних процесів сейсмонебезпечного району Вранча / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, В.А. Кирилюк, Р.А. Андрущук // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: зб. наук. пр. – Ж.: ЖВІ НАУ, 2009. – Вип. 2. – С. 125-130.

7. 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.

8. Обробка геофізичних сигналів у сучасних автоматизованих комплексах: навч. посібник / М.Ф. Пічугін, О.А. Машков, В.А. Кирилюк та ін. – Ж.: ЖВІРЕ, 2006. – 178 с.

9. Гордієнко Ю.О. Автоматична ідентифікація об'ємних хвиль за результатами аналізу кутових характеристик сейсмічного сигналу від джерел в ближній зоні / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, Ю.А. Андрущук // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2007. – Вип. 3 (15). – С. 27-31.

10. 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.

11. Андрущук Ю.А. Аналіз ефективності застосування критеріїв ідентифікації вибухів і землетрусів для локальних та регіональних подій в умовах платформної частини України / Ю.А. Андрущук, Ю.О. Гордієнко // Геофізичний журнал. – 2009. – Т. 31, № 3. – С. 121-129.

12. Кедров О.К. Сейсмические методы контроля ядерных испытаний / О.К. Кедров – М., Саранск: Тип. "Крас. Окт.", 2005. – 420 с.

13. 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.

14. Александров С.И. Поляризационный анализ сейсмических волн / С.И. Александров. – М.: ОИФЗ РАН, 1999. – 142 с.

15. Гордієнко Ю.О. Оцінка характеристик вибірковості системи сейсмічного групування при врахуванні форми сейсмічного сигналу / Ю.О. Гордієнко, О.І. Солонець, І.В. Толчонон, В.О. Гордієнко. – Системи обробки інформації: зб. наук. пр. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 6(87). – С. 264-266.

Надійшла до редколегії 5.12.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Д.В. Голкін, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ ФАКТОРОВ ОПАСНОСТИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ

В.Н. Ващенко, И.В. Толчонон, Ю.А. Гордієнко, А.И. Солонец

Определено место сети сейсмических наблюдений Главного центра специального контроля в системе информационного обеспечения единой системы гражданской защиты. Проведен анализ существующих методологических основ обработки измерительных данных сейсмических средств. 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.

RAISING OF EXPOSURE OF EXTRAORDINARY SITUATIONS DANGER FACTORS PROBLEM BY SEISMIC FACILITIES

V.N. Vaschenko, I.V. Tolchonov, J.A. Gordienko, A.I. Solonets

The place of seismic supervisions network of the Main center of the special control in the system of the informative providing of the civil defence single system is certain. The analysis of existent methodological bases of measurements data processing of seismic facilities is conducted. Basic directions of methodological bases development of measurements 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.

Keywords: extraordinary situation, danger factor, monitoring, seismic signal, network of seismic supervisions.