

*О.І. Ляшук, к.ф.-м.н., нач. відділу, ГЦСК ДКА України,
Ю.А. Андрущенко, к.геогр.н., провідн. інженер, ГЦСК ДКА України,
В.М. Шапка, заст. нач. центру, ГЦСК ДКА України,
І.В. Толчонов, нач. центру, ГЦСК ДКА України,
І.В. Корнієнко, нач. відділу, ГЦСК ДКА України*

ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПИТАННЯ РАНЬОГО ОПОВІЩЕННЯ ПРО ЗЕМЛЕТРУСИ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ

(представлено д-ром техн. наук Ключкою Ю.П.)

В статті обґрунтована необхідність створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти України. Проаналізований світовий досвід організації систем раннього оповіщення про землетруси. Представлена модель системи раннього оповіщення, що на інформаційних та технічних можливостях Головного центру спеціального контролю.

Ключові слова: сейсмічність, землетрус, сейсмічна хвиля, ранне оповіщення.

Постановка проблеми. Аналіз досвіду ліквідації наслідків катастрофічних землетрусів в різних країнах за останні десятиліття показує, що рятувальні дії найбільш ефективні в перші години після підземного поштовху. Тому до служб термінових донесень та оповіщення, пред'являються все більш жорсткі вимоги, оскільки від точності та оперативності їхніх повідомлень про «тривогу» багато в чому залежить ефективність дій рятувальних формувань. Велика частина негативних наслідків руйнівних землетрусів обумовлена дією факторів вторинної небезпеки (пожежі, аварії в спорудах енергопостачання, транспортних комунікацій, прориви дамб, зсуви, обвали та ін.). В останні роки спостерігається бурхливий розвиток промислової, аграрної та будівельної індустрії, а також інтенсивне освоєння сейсмічно небезпечних територій. Ці процеси неминуче призводять до посилення техногенного навантаження територій та підвищення сейсмічного ризику. Тому створення системи раннього оповіщення є актуальним.

Згідно з картою загального сейсмічного районування території України ЗСР-2004-С [1], що застосовується при розробці генеральних планів раціонального землекористування та оптимального вибору місць розташування об'єктів особливо відповідальної категорії (АЕС, крупних гідроспоруд, крупних хімкомбінатів, різних екологічно небезпечних об'єктів) більша частина платформної території України відно-

ситься до зон з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань шість-сім балів (рис. 1).



Рис. 1. Генеральна карта загального сейсмічного районування території України (ЗСР-2004-С для періоду повторюваності землетрусів 5000 років) [1]

Основний сейсмічний вплив на територію України спричиняють землетруси району гір Вранча. Потужна, в сейсмічному відношенні, підкорова вогнищева зона, розташована в Румунії під горами Вранча, пов'язана з вигином Карпатської дуги - областю тектонічного з'єднання Східних і Південних Карпат. Особливістю прояву землетрусів, що виникають в цьому районі, є значна інтенсивність сейсмічних коливань на величезній за площею території, яка охоплює Румунію, Угорщину, Болгарію, Югославію, Молдову, Україну і європейську частину Росії, включно з Москвою і Санкт-Петербургом. При цьому спостерігається еліпсо-видна витягнутість ізосейст в північно-східному напрямку.

Протягом останнього тисячоліття з 1091 по 1990 рр. відомо 30 сильних землетрусів, вогнища яких знаходилися в зоні Вранча, а значення магнітуд у ряді випадків досягало і перевищувало 7. За останні 200 років відбулося сім сейсмічних подій з інтенсивністю струшувань в епіцентрі, що перевищує 8 балів ($I_0 = 8,5-10$ балів) [2-5].

Наявність на території України великої кількості об'єктів критичної інфраструктури вимагає створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Система попередження про землетруси – це система сейсмічних датчиків, комунікаційного

устаткування, обчислювальних засобів і програмного забезпечення для регіонального оповіщення про сильні землетруси.

Сигнали від землетрусів реєструються великою кількістю сейсмічних датчиків, інформація від яких по високошвидкісних комунікаційних каналах надходить в обробку для розрахунку ймовірної сили землетрусу і очікуваних наслідків. Якщо виявлено землетрус, що несе потенційну небезпеку для об'єктів критичної інфраструктури, негайно включаються системи оповіщення і тривоги. Серед країн, що мають такі системи - Японія, Тайвань, Мексика, США, Чехія, Італія. Перша автоматизована система, що з'явилася в США в 90-х роках минулого сторіччя має назву QuakeGuard. Дана технологія зараз використовується на 40 об'єктах в Каліфорнії. У 2007 році в Японії Метеорологічним агентством була впроваджена в роботу система раннього попередження, яка спочатку планувалася для аварійної сигналізації і гальмування надшвидкісних залізничних експресів. В даний час попередження передаються по національному телебаченню і радіо, а також з'являються на екранах мобільних телефонів. Під час землетрусу 11 березня 2011 року система спрацювала через 8,6 секунд після виникнення сигналу в джерелі.

Постановка завдання та його вирішення. На даний час існує декілька підходів до створення систем раннього оповіщення про землетруси. На прикладі українських АЕС розглянемо переваги та недоліки цих підходів.

Робота переважної частини існуючих в світі систем раннього оповіщення про землетруси основана на різниці швидкостей розповсюдження повздовжніх та поперечних сейсмічних хвиль. Швидкість Р-хвилі – приблизно 7,33 км/с, в той час як хвиля S, яка несе в собі основну руйнівну силу землетрусу є в 1,8 рази повільнішою за хвилю Р і має середню швидкість розповсюдження – біля 4,14 км/с. Під час розповсюдження сейсмічних хвиль від джерела до пункту реєстрації відбувається їх чітке розділення, що дозволяє після приходу на сейсмічний датчик Р-хвилі розрахувати прискорення та у разі перевищення визначеного порогу подати сигнал тривоги, перш ніж руйнівна хвиля S досягне того чи іншого об'єкту критичної інфраструктури.

Згідно вимог МАГАТЕ, атомні електростанції повинні бути оснащені мережею сейсмічних датчиків, основною задачею якої є:

- розрахунок акселерограм та визначення прискорень, що виникають в результаті сейсмічного впливу на елементи інженерних конструкцій;
- інструментальне дослідження сейсмічності території розташування АЕС;
- створення системи сигналізації та попередження про сейсмічну небезпеку.

У зв'язку з тим, що сейсмічні датчики, які використовуються в системі раннього оповіщення розташовані в безпосередній близькості від потенційно небезпечних об'єктів, сигнал тривоги формується лише після впливу на об'єкт першої сейсмічної хвилі (Р-хвилі). Така система дозволяє проводити автоматичну аварійну зупинку реактора при сейсмічному впливі на ґрунті, що відповідає проектному землетрусу, але не захищає персонал і не дає йому часу для підготовки до дій в умовах надзвичайної ситуації. Ще одним недоліком даної системи є її прив'язка лише до одного конкретного сейсмонебезпечного об'єкту.

З метою усунення вищеперелічених недоліків в системі раннього оповіщення необхідно використовувати сейсмічні датчики, що віддалені від території розміщення АЕС у напрямку сейсмічно небезпечної зони. Це дозволить отримувати сигнал тривоги ще до приходу на АЕС першої сейсмічної хвилі та значно збільшить час між поданням сигналу тривоги та приходом на станцію руйнівної S-хвилі. Одним з варіантів є використання сейсмічних станцій, розташованих в безпосередній близькості від зони виникнення сейсмічних вогнищ, що становлять потенційну небезпеку для українських АЕС.

Прототип вищеописаної системи був розроблений і впроваджений в дію спеціалістами Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України (ГЦСК ДКА України). Дана система включає в себе мережу сейсмічних датчиків, що розташовані у безпосередній близькості до сейсмонебезпечного регіону, систему збору, збереження та обробки сейсмічної інформації та систему оповіщення про небезпечне явище. На даний час ГЦСК має доступ до даних з румунських сейсмологічних станцій, розташованих безпосередньо в сейсмонебезпечній зоні Вранча (рис. 2). Включення даних станцій до системи раннього оповіщення дозволяє максимально зменшити час між виникненням сигналу в джерелі та формуванням відповідного сигналу тривоги. Програмно-математичний комплекс SeisComp3, що використовується в ГЦСК дозволяє проводити автоматичне виявлення та обробку сейсмічних сигналів.

В табл. 1 представлені відстані від сейсмоактивної зони Вранча до АЕС України, а також запаси часу на оповіщення до приходу руйнівної S-хвилі, враховуючи те, що швидкість спрацювання системи складає приблизно 40 с.

Для найближчої Южно-Української АЕС, яка знаходиться на відстані 435 км від джерела, оповіщення про небезпеку можна здійснити 40 сек. до приходу хвилі S. До решти АЕС, які знаходяться на більшому віддаленні запас часу до приходу S-хвилі складає від 1 хв. 5 сек. до 1 хв. 54 сек.



Рис. 2. Розташування акселерометрів на території Румунії

Використання сейсмічних датчиків в безпосередній близькості до сейсмонебезпечної зони значно скорочує час на видачу сигналу тривоги, але, наряду з тим може призвести до похибок у визначенні енергетичних параметрів джерела і, як результат, до неправильної оцінки вірогідних наслідків землетрусу на території України. Ще одним недоліком є те, що така побудова системи оповіщення орієнтована лише на один сейсмонебезпечний регіон, і для контролю іншого регіону потребує додаткового розміщення сейсмічних датчиків. Так відомо, що на території Румунії існує ще ряд вогнищевих зон, розташованих в районах міст Галац та Бузеу. Землетруси, що виникають в цих районах менш потужні у порівнянні з землетрусами регіону Вранча, проте можуть створювати значні сейсмічні впливи на прикордонні райони України. Так 3 жовтня 2013 року відбувся землетрус з епіцентром в районі м. Галац з магнітудою 3,7, при цьому інтенсивність сейсмічних коливань в районах міст Ізмаїл та Рені, Одеської області склала приблизно 3 бали за шкалою MSK-64. Крім того в районі Вранча існує ряд джерел з достатньо невеликими глибинами гіпоцентрів. Вплив цих джерел на територію України є незначним, навіть при великих магнітудах. В свою чергу, реєстрація таких землетрусів може викликати хибні спрацювання системи оповіщення.

Виходячи з цього, логічним розвитком системи раннього оповіщення є створення мережі акселерометрів, встановленої на сейсмонебезпечних напрямках поблизу кордону України, наприклад в місті Ізмаїл або Рені.

Табл. 1. Розповсюдження сейсмічних хвиль до АЕС та запас часу на оповіщення

№ з/п	АЕС	Відстань від джерела (км)	Час пробігу	
			S-хвилі	запас часу
1.	Южно-Українська АЕС	435	1хв. 21с	41 с
2.	Хмельницька АЕС	522	1хв. 45с	1 хв. 05 с
3.	Рівненська АЕС	637	2хв. 10с	1 хв. 30 с
4.	Запорізька АЕС	664	2хв. 10с	1 хв. 30 с
5.	Чорнобильська АЕС	695	2хв. 34с	1 хв. 54 с

При цьому система оповіщення забезпечить подачу сигналу тривоги при виникненні будь-якого високоенергетичного сейсмічного явища, що з високою долею імовірності може становити загрозу для об'єктів критичної інфраструктури України. Вихідний сигнал акселерометра пропорціональний вимірюваному прискоренню. У випадку перевищення порогового рівня вихідного сигналу, по протоколу SeedLink оптичними, провідними чи безпроводними каналами зв'язку до віддаленого серверу надсилається сигнал тривоги. При отриманні сервером сигналів тривоги з декількох датчиків формується загальний сигнал, який і надсилається в автоматичному режимі, згідно раніше встановленого списку, користувачам. Треба зауважити, що час спрацювання такої системи значно менший і за розрахунками складає порядку 6 секунд.

В табл. 2-3 представлені відстані від пунктів спостереження (ПС) Ізмаїл та Рені до АЕС України, а також запаси часу на оповіщення до приходу Р-хвилі та S-хвилі.

Реалізація оповіщення може бути здійснена шляхом встановлення на об'єктах підвищеної небезпеки та місцях скупчення людей обладнання для отримання сигналу тривоги та його доведення до населення. У випадку об'єктів підвищеної небезпеки сигнал тривоги може передаватися до автоматизованої системи безпеки підприємства для здійснення подальших заходів щодо зменшення наслідків дії землетрусу на технологічні процеси та приведення персоналу до підвищеної готовності.

Табл. 2. Розповсюдження сейсмічних хвиль від ПС «Ізмаїл» до АЕС та запас часу на оповіщення

№ з/п	АЕС	Відстань від ПС (Ізмаїл) (км)	Запас часу на оповіщення	
			Запас часу по Р-хвилі	Запас часу по S-хвилі
1.	Южно-Українська АЕС	328	27 с	57 с
2.	Запорізька АЕС	514	53 с	1хв 45 с
3.	Хмельницька АЕС	574	1хв 07 с	2хв 09 с
4.	Чорнобильська АЕС	677	1хв 20 с	2хв 34 с
5.	Рівненська АЕС	698	1хв 21 с	2хв 35 с

Табл. 3. Розповсюдження сейсмічних хвиль від ПС «Рені» до АЕС та запас часу на оповіщення

№ з/п	АЕС	Відстань від ПС (Рені) (км)	Запас часу на оповіщення	
			Запас часу по Р-хвилі	Запас часу по S-хвилі
1.	Южно-Українська АЕС	342	39 с	1 хв. 21 с
2.	Запорізька АЕС	544	53 с	1 хв. 45 с
3.	Хмельницька АЕС	551	53 с	1 хв. 45 с
4.	Чорнобильська АЕС	670	1 хв. 20 с	2 хв. 34 с
5.	Рівненська АЕС	674	1 хв. 21 с	2 хв. 35 с

Однією з основних переваг даного способу являється те, що в ньому, із-за застосування акселерометрів із завчасно запрограмованим порогом спрацювання, максимально мінімізовані затримки на обробку інформації через відсутність необхідності обробки сейсмічних даних та проведення розрахунку енергетичних сейсмічного джерела. Час спрацювання системи максимально наближено до реального часу та складає всього декілька секунд, що обумовлено каналами передачі даних та часом реакції системи на подію.

Апробація способу здійснювалась шляхом математичного та програмного моделювання. Для розрахунків використовувалось спеціалізоване програмне забезпечення SeisComP3 та PRESTo, мережа акселерометрів компанії Guralp Systems Ltd.

З розрахунків видно, що мінімальний час на оповіщення про наближення сейсмічного сигналу до українських АЕС, при розгортанні мережі акселерометрів, розміщених поблизу кордону України, у випадку виникненні землетрусу в районі гір Вранча складає:

- Южно-Українська АЕС — 57 секунд;
- Хмельницька АЕС – 1 хвилина 09 секунди;

- Запорізька АЕС – 1 хвилина 45 секунд;
- Рівненська АЕС – 2 хвилини 34 секунди;
- Чорнобильська АЕС – 1 хвилини 35 секунд.

Таким чином, при використанні заявленого способу час між подачею сигналу тривоги та приходом руйнівної хвилі S значно збільшується і є достатнім для проведення необхідних заходів, прийняття рішення та проведення дій згідно відповідних інструкцій та протоколів.

Висновки. Наявність на території України великої кількості об'єктів критичної інфраструктури вимагає створення систем раннього оповіщення про потужні землетруси з метою мінімізації негативних впливів на потенційно небезпечні об'єкти.

При побудові систем раннього оповіщення можливо використовувати як сейсмічні станції, розташовані на території України так і іноземні станції, що знаходяться в сейсмонебезпечних районах. Використання в системі раннього оповіщення даних станцій, розташованих у безпосередній близькості до епіцентру сейсмічної події, дозволяє максимально зменшити час між виникненням сигналу в джерелі та формуванням відповідного сигналу тривоги.

Необхідною умовою подальшого розвитку національної системи раннього оповіщення про землетруси є розширення сейсмологічної мережі та встановлення сейсмічних датчиків на основних сейсмонебезпечних напрямках поблизу кордону України, що забезпечить подачу сигналу тривоги при виникненні високоенергетичного сейсмічного явища, не залежно від місця розташування джерела.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пустовитенко В.Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности / Пустовитенко В.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. // Геофиз. Журн. – 2006. – Т.28. – №3. – С. 60-67.
2. Евсеев С.В. Землетрясения Украины (Каталог землетрясений Украины с 1000 по 1940 гг.) – Киев: Изд-во АН УССР, 1961. – 75 с.
3. Ризниченко Ю.В. Сейсмичность и сейсмоопасность Карпатского региона / Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонина Н.А. // Карпатское землетрясение 4 марта 1977 г. и его последствия – М.: Наука, 1980. – С. 46-85.
4. Ризниченко Ю.В. Сейсмичность и сотрясаемость Карпато-Балканского региона / Ризниченко Ю.В., Друмя А.В., Степаненко Н.Я. – Кишинев: Штинца, 1976. – 118 с.

5. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / [отв. ред. Кондорская Н.В., Шебалин Н.В.]. – М.: Наука, 1977. – 535 с.

А.І. Лящук, Ю.А. Андрущенко, В.Н. Шапка, І.В. Толчонов, І.В. Корнієнко

Пути решения вопроса раннего оповещения о землетрясениях для объектов критической инфраструктуры Украины

В статье обоснована необходимость создания систем раннего оповещения о мощных землетрясениях с целью минимизации негативных воздействий на потенциально опасные объекты Украины. Проанализирован мировой опыт организации систем раннего оповещения о землетрясениях. Представленная модель системы раннего оповещения, на информационных и технических возможностях Главного центра специального контроля.

Ключевые слова: сейсмичность, землетрясение, сейсмическая волна, раннее оповещение.

A.I. Liashchuk, Y.A. Andruschenko, V.N. Shapka, I.V. Tolchonov, I.V. Kornienko

The ways to solve the issue of earthquake early warning system for critical infrastructure in Ukraine

In the article the need to establish early warning systems to powerful earthquakes to minimize negative impacts on potentially dangerous objects Ukraine. Analyzes the international experience of early warning systems for earthquakes. The model early warning that the information and technical possibilities Main center of the special control.

Keywords: seismicity, earthquake, seismic waves, early warning.