

УДК 550.344.094.4(477.85)

## СИСТЕМА РАНЬОГО ПОПЕРЕДЖЕННЯ ПРО ЗЕМЛЕТРУС, ДОЦІЛЬНІСТЬ ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЧЕРНІВЦІВ

*Николаєв А.М.*

*Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича*

Проаналізовано принципи функціонування системи раннього попередження про землетрус (REWS). Оцінено завчасність попередження про ймовірний землетрус з епіцентром в області гір Вранча для міста Чернівці.

**Ключові слова:** система раннього попередження про землетрус, поздовжня хвиля, поперечна хвиля, епіцентральною область, завчасність попередження.

**Вступ.** Проблема зниження сейсмічної небезпеки має багато аспектів: науковий, інженерний, економічний, соціальний, адміністративний, психологічний, але не всі вони розроблені у достатній мірі. Пріоритетними напрямками її вирішення є прогнозування землетрусів і запровадження антисейсмічних заходів, у першу чергу – сейсмостійкого будівництва. Прогноз землетрусу може вважатись повним і практично значущим, якщо завчасно передбачені три елементи наступної небезпечної події: місця, інтенсивності і часу поштовху. Відповідь на перші два запитання дає сейсмічне районування, яке містить елементи прогнозу можливої максимальної інтенсивності і середньої частоти повторюваності землетрусів на певній території. Діючим для території України є комплект карт сейсмічного районування ОСР-2004 [3], на основі якого розроблені Державні будівельні норми [1], обов'язкові до виконання в усіх сейсмонебезпечних районах країни. Разом з тим, найважливіший елемент прогнозу – передбачення часу прояву поштовхів, попри усі зусилля науковців і величезні матеріальні витрати на проведення досліджень, наразі не знайшов надійного вирішення. За таких умов, базовим елементом зниження сейсмічної небезпеки є розробка і запровадження системи раннього попередження, під якою розуміється завчасне повідомлення про час прояву на певній території руйнівних поштовхів вже зареєстрованого в епіцентральному районі землетрусу. Системи раннього попередження для небезпечних умов (Rapid Early Warning System For Dangerous Facilities), надалі – REWS, наразі, функціонують у 9-ти державах світу: США, Японії, Мексиці, Китаї (Тайвань), Італії, Греції, Туреччині, Індії та Румунії.

**Метою дослідження** є вивчення принципу дії системи раннього попередження про землетрус та оцінка можливості і доцільності її застосування для захисту міста Чернівці.

**Виклад основного матеріалу.** Фізичною основою REWS є, по-перше, різниця у швидкостях

пробігу поздовжньої (P) і поперечної (S) сейсмічних хвиль. Первинна хвиля P поширюється зі швидкістю близько 7 км/с, вона не викликає руйнувань, швидкість вторинної хвилі S є значно меншою (3,5-4 км/с), проте на неї припадає до 70 % енергії землетрусу. По-друге, у системі використовується різниця між швидкостями проходження сейсмічних хвиль в гірських породах і електричного сигналу по лініях зв'язку. Фактично, REWS дає можливість використовувати тривалість проміжку часу між моментом реєстрації хвилі P в епіцентральному районі і проявом хвилі S на території, яка має бути захищеною. На рис. 1 показано, як здійснюється реалізація базових принципів функціонування REWS.

В епіцентральному районі створюється локальна сейсмічна мережа для реєстрації часу вступу поздовжньої хвилі,  $T_p$ . Мережа повинна мати конфігурацію, яка забезпечує відхилення хибних сигналів, генерованих місцевими, у тому числі – техногенними процесами. При регіональних варіаціях величин швидкості хвилі P час її вступу,  $T_p$  залежить від глибини гіпоцентру землетрусу,

$$T_p = H/V_p, \text{ де (1)}$$

$H$  – глибина гіпоцентру землетрусу;

$V_p$  – швидкість поздовжньої хвилі.

Апаратура локальної мережі потребує певного часу,  $T_0$  для ідентифікації вступу поздовжньої хвилі. Таким чином, час подачі попередження,  $T_{пп}$  буде визначатись, як:

$$T_{пп} = T_p + T_0. \text{ (2)}$$

Завчасність попередження  $T_p$  є різницею між часом подачі попередження і часом пробігу поперечної хвилі від гіпоцентру до розрахункової точки:

$$T_p = T_s - T_{пп}, \text{ де (3)}$$

$T_p$  – завчасність попередження;

$T_s$  – час пробігу поперечної хвилі;

$T_{пп}$  – час подачі попередження.

Час пробігу хвилі S визначається її швидкістю і величиною епіцентральної відстані,  $D$ :

$$T_s = D/V_s, \text{ де (4)}$$

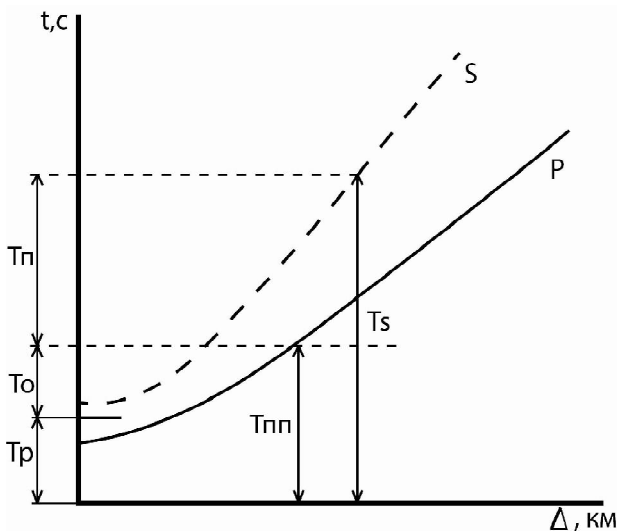


Рис.1. Принцип дії системи раннього попередження

$\Delta$  – епіцентральна відстань;

$V_s$  – швидкість поперечної хвилі.

Рівняння (4) використовується у випадку, коли епіцентральна відстань багатократно перевищує глибину гіпоцентру (корові землетруси,  $\Delta \gg H$ ). При співмірності величин епіцентральної відстані і глибини гіпоцентру (близькі глибокофокусні землетруси,  $\Delta \approx H$ ), час пробігу хвилі  $S$  розраховується за виразом:

$$T_s = L\phi / V_s, \text{ де}$$

$L\phi$  – фактична відстань між вогнищем землетрусу і розрахунковою точкою на земній поверхні, рис. 2,

Фактична відстань визначається виразом:

$$L\phi = \sqrt{H^2 + \Delta^2} \quad (5)$$

Сигнал про початок землетрусу в реальному часі через швидкісну мережу передачі даних надходить до центру аналізу і обробки інформації. Програмне забезпечення центру дозволяє оцінювати параметри землетрусу і рівень його небезпечності, ці дані через лінії зв'язку (радіо, Інтернет, GPRS, SMS) передаються користувачам для реагування. Застосування REWS дозволяє завчасно розпочинати проведення антисейсмічних заходів: оповіщення служб цивільного захисту населення, охорони громадського порядку, швидкої медичної допомоги, пожежних частин, зупиняти небезпечні технологічні процеси, захищати нафто- і газопроводи, електромережі і лінії зв'язку, тощо. Окремо сигнал тривоги може передаватись населенню через системи мобільного зв'язку. Реалізація принципів функціонування REWS забезпечується апаратними комплексами, конфігурація яких визначається запитами користувачів.

Території Румунії і України мають спільне джерело сейсмічної небезпеки – епіцентральну область гір Вранча. Її особливостями є стійкість глибокофокусних гіпоцентрів і знаходження в

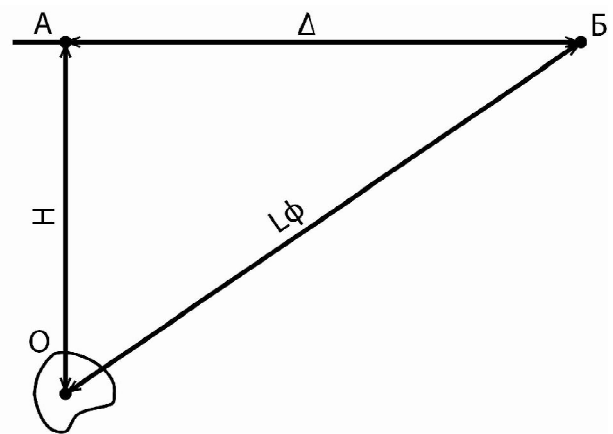


Рис.2. Епіцентральна і фактична відстані для глибокофокусного землетрусу

постійному режимі підготовки сильного землетрусу [2]. Основні параметри найсильніших землетрусів області, що класифікуються, як катастрофічні події, наведені в табл. 1.

Прояви цих землетрусів в Румунії викликали руйнування будинків і загибель людей [2]. Максимальна інтенсивність прояву поштовхів області гір Вранча на території Чернівецької області і м. Чернівці спостерігалась під час землетрусу 26.10.1802 р., проте, вона не перевищувала 7 балів шкали MSK.

Значення розрахункової сейсмічної інтенсивності для найбільших населених пунктів Чернівецької області при різних періодах повторюваності землетрусів наведені в табл. 2.

За існуючого, досить високого, рівня сейсмічної небезпеки актуальною є оцінка завчасності, яка може бути забезпечена для захисту Чернівців системою раннього попередження. У табл. 3 наводяться значення завчасності попередження  $T_p$ , розраховані для трьох варіантів можливої сейсмічної події з епіцентром в області гір Вранча при використанні REWS, діючої на території Румунії.

Найбільш ймовірною є сейсмічна подія, епіцентр якої буде знаходитись в центральній, найбільш активній частині області Вранча, ( $45^\circ 42' N$ ,  $26^\circ 36' E$ ) з гіпоцентром на глибині 130 км. У такому випадку, завчасність періоду попередження для міста Чернівці становитиме близько 60 секунд. Для порівняння, оцінені тривалості періодів попередження для двох граничних ситуацій: «найгіршої» - при максимальній глибині гіпоцентру і мінімальній епіцентральній відстані, і «найкращої» при найменшій для області глибині гіпоцентру і найбільшій епіцентральній відстані. При таких сейсмічних подіях тривалість періоду попередження становитиме, відповідно, 30 і 80 секунд. При обладнанні

Таблиця 1

## Найсильніші землетруси епіцентральної області гір Вранча [2]

Дата	Глибина гіпоцентру, км	Магнітуда	Інтенсивність в епіцентрі, балів шкали MSK
29.08.1471	110	7,5	9
24.11.1516	150	7,5	9
30.04.1590	100	7,3	8,5
09.08.1679	110	7,5	9
11.06.1738	130	7,7	9,5
05.04.1740	150	7,3	8,5
06.04.1790	150	7,1	8
26.10.1802	150	7,9	10
28.11.1829	150	7,3	8,5
23.01.1838	150	7,5	9
17.08.1893	100	7,1	8
31.08.1894	130	7,1	8
06.10.1908	125	7,1	8
10.11.1940	150	7,7	9,5
07.09.1945	80	6,8	7,5
04.03.1977	94	7,4	9
30.08.1986	131	7,1	8,5

Таблиця 2

## Розрахункова сейсмічна інтенсивність в балах шкали MSK для населених пунктів Чернівецької області [1]

Населений пункт	Розрахункова інтенсивність для періоду повторюваності, років		
	500	1000	5000
Вашківці	6	7	7
Вижниця	6	7	8
Герца	6	7	8
Заставна	6	7	7
Кіцмань	6	7	7
Новодністровськ	6	6	7
Новоселиця	6	7	7
Сокиряни	6	6	7
Сторожинець	6	7	8
Хотин	6	7	7
Чернівці	6	7	7

Таблиця 3

## Завчасність періодів попередження про ймовірний землетрус з епіцентром в області гір Вранча для міста Чернівці при використанні REWS

Варіант сейсмічної події	H, км	$\Delta$ , км	$L_{\Phi}$ , км	Завчасність попередження, с	
				$\Delta$	$L_{\Phi}$
Найбільш наближена частина області Вранча, найбільша глибина гіпоцентру	200	200	300	21	46
Центр області Вранча, середня глибина гіпоцентру	130	288	320	54	62
Найбільш віддалена частина області Вранча, найменша глибина гіпоцентру	60	360	370	81	83

REWS на території Чернівецької області тривалість періоду попередження про землетрус буде істотно меншою. Використання апаратурного комплексу, встановленого в місті Чернівці, може забезпечити тривалість періоду попередження близько 30, у найближчому до епіцентру майбутнього землетрусу пункті області – близько 35 секунд. Така завчасність є незначною, проте такою ж, як і для міста Бухарест [4].

Доцільність застосування системи раннього попередження для захисту Чернівців від ймовірного землетрусу з епіцентром в області гір Вранча визначається можливістю створення систем сигналізації і блокування, що працюють в автоматичному режимі, здатних ефективно використовувати проміжок часу близько однієї хвилини.

## Література

1. Державні будівельні норми ДБН В.1. – 12: Будівництво в сейсмічних районах. – К.: Міністерство будівництва, архітектури і житлово-комунального господарства України, 2006. – 97с.
2. Друмя А.В., Сильнейшие землетрясения Карпатского региона в XVIII – XX веках. / Друмя А.В., Степаненко Н.Я., Симонова М.А. // Buletinul Institutului Geofizicasi Geological ASM. №1. – 2006. – С. 37-64.
3. Пустовитенко Б.Г. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности. / Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. // Геофизический журнал. – 2006. – Т.28, №3. – С.54-77.
4. Institutul Roman De Seismologie Aplicata [Електронний ресурс]: <http://www.fotonsas.ro>

## References:

1. Derzhavni budivel'ni normy DBN. V.1-12: Budivnytstvo v sejsmichnykh rajonakh [State building codes DBN. V.1-12: Building in seismic areas]. – K.: Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury i zhytlovo-komunal'noho gospodarstva Ukrainy – Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, 2006, 97p. [in Ukrainian].
2. Drumja A.V., Sil'nejshie zemletrjasenija Karpatskogo regiona v XVIII – XX vekah. [The strongest earthquakes in the Carpathian region of XVIII - XX centuries]. Buletinul Institutului Geofizicasi Geological ASM. №1, 2006, pp. 37-64. [in Russian].
3. Pustovitenko B.G. Novye karty obshhego sejsmicheskogo rajonirovanija territorii Ukrainy. Osobennosti modeli dolgovremennoj sejsmicheskoy opasnosti [New maps of general seismic zoning of the territory of Ukraine. Features of the model of long-term seismic hazard]. Geofizicheskij zhurnal -Geophysical journal, 2006, vol. 28, no.3, pp.54-77. [in Russian]
4. Institutul Roman De Seismologie Aplicata [Electronic Resource]: <http://www.fotonsas.ro>

**Николаев А.Н. Проанализированы принципы функционирования системы раннего предупреждения о землетрясении (REWS).** Оценена заблаговременность предупреждения о вероятном землетрясении с эпицентром в области гор Вранча для города Черновцы.

**Ключевые слова:** система раннего предупреждения о землетрясении, продольная волна, поперечная волна, эпицентральная область, заблаговременность предупреждения.

**Nykolayev A.M. Analyzed the principles of the system of early warning earthquake (REWS).** Reviewed earliness warning of probable earthquake with epicenter in Vrancea mountains for the city of Chernivtsi.

**Key words:** early warning system of earthquake longitudinal wave, transverse wave, epicenter region, earliness card.