

Ю.О. Гордієнко, інж.
В.М. Каплаушенко, спец. від.
Головний центр спеціального контролю НКАУ

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА МЕРЕЖА СЕЙСМІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ГЦСК ЩОДО УПЕРЕДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СЕЙСМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВІД ЗЕМЛЕТРУСУ В БЛИЖНІЙ ЗОНІ

(Представлено д.т.н., проф. Грабаром І.Г.)

Розглянуто фізичні засади можливості упередження максимального сейсмічного ефекту від землетрусу в ближній зоні потенційно небезпечного класу. Проведена оцінка часу упередження мережею сейсмічних спостережень Головного центру спеціального контролю НКАУ та румунських сейсмічних станцій для різних регіонів України від землетрусів у зоні Вранча.

Вступ. Одним із завдань, покладених на Головний центр спеціального контролю НКАУ, в межах функціонування Національної системи сейсмічних спостережень, є оперативне забезпечення органів влади про сейсмічні події на території України та суміжних держав з метою своєчасного проведення відповідних заходів [1].

На даний час перше оповіщення про землетруси у ближній зоні (БЗ), інтенсивність яких на території України перевищує 3 бали, з попередньою оцінкою параметрів джерела, проводиться через п'ятнадцять хвилин після виникнення землетрусу. Для сейсмічної події небезпечного класу такі терміни достатні лише для проведення аварійно-рятувальних заходів у постраждалих районах. При цьому оцінка параметрів землетрусу проводиться за результатом аналізу всього сигналу, хоча кожна його складова сама по собі несе інформацію про параметри джерела.

Проблема зменшення часу ідентифікації сейсмонебезпечного району БЗ, в якому відбувся землетрус та оцінки параметрів події є актуальною.

Перехід на цифрові основи обробки та аналізу сейсмічної інформації, а також можливість використання в обробці цифрових даних з іноземних сейсмічних станцій в режимі реального часу, дозволяє використовувати нові методологічні підходи щодо обробки та аналізу матеріалів реєстрації, що, в свою чергу, дає можливість зменшити час, необхідний для оцінки параметрів сейсмічної події та проведення оповіщення користувачів.

Проблему підвищення оперативності оповіщення про землетрус можна розкласти на дві складові:

1) фізичні підходи побудови системи оперативного оповіщення з елементом упередження найбільш небезпечних фаз сейсмічного сигналу від землетрусу;

2) програмно-методологічні підходи щодо реалізації та функціонування такої системи.

Фізичні підходи побудовані на потенційній можливості проведення оцінки параметрів сейсмічної події за результатами аналізу перших фаз сейсмічного сигналу, які є менш небезпечними. Враховуючи характер перерозподілу енергії по складовим сейсмічному сигналу та швидкостей їх розповсюдження за результатами аналізу першого вступу з'являється можливість проведення в реальному часі упередження користувачів про фази сейсмічного сигналу з максимальними енергетичними характеристиками.

Програмно-методологічний аспект базується на удосконаленні підходів щодо обробки та аналізу виміральної інформації з метою зменшення часу, необхідного для прийняття рішення про подію та оцінки його параметрів при заданому рівні достовірності, шляхом введення нових методологічних підходів та інформаційних критеріїв.

Метою даної роботи є розгляд фізичних підходів зменшення часу оповіщення про сейсмічну подію небезпечного класу, побудованих на фізичних особливостях сейсмічних сигналів від землетрусів у ближній зоні, та можливості існуючої мережі сейсмічних спостережень ГЦСК НКАУ щодо вирішення завдань упередження потенційно небезпечних об'єктів, розташованих на території України відносно сейсмоактивної зони Вранча (Румунська частина Карпат). Також розглядається можливість використання інформації закордонних сейсмічних станцій, насамперед Румунських.

1. Складові сейсмічного сигналу від землетрусів. Під час землетрусу від епіцентру джерела розходяться хвилі пружних коливань у всіх напрямках всередині та по поверхні Землі. Ці коливання розповсюджуються на значні відстані від епіцентру та можуть слугувати важливим джерелом інформації для ідентифікації явища та оцінки його параметрів.

Виділяють динамічні (поляризація, амплітуди та частоти) та кінематичні (час пробігу) характеристики хвиль [2].

За характером руху ґрунту при розповсюдженні сейсмічних хвиль їх ділять на поздовжні (P), поперечні (S) та поверхневі: Lr – хвилі Релея і Lq – хвилі Лява.

В P -хвилях стискування та розрідження часток ґрунту відбувається в напрямку розповсюдження хвилі (рис. 1, *a*). Коливання в P -хвилях аналогічні звуковим хвилям у повітрі.

Для S -хвиль зміщення ґрунту відбувається перпендикулярно напрямку розповсюдження хвилі (рис. 1, *б*). За характером поляризації S -хвилі мають дві компоненти: SV – з рухом частинок у вертикальній та SH – в горизонтальній площинах.

Поряд з об'ємними по Землі можуть поширюватися і поверхневі хвилі. Ці хвилі бувають двох типів: Релея (Lr) і Лява (Lq). У Релеєвській хвилі частки ґрунту зміщуються у вертикальній площині, орієнтованій вздовж напрямку поширення хвиль, а траєкторії їх рухів являють собою еліпси. У хвилі Лява частки рухаються в горизонтальній площині поперек напрямку поширення хвилі [3, 4].

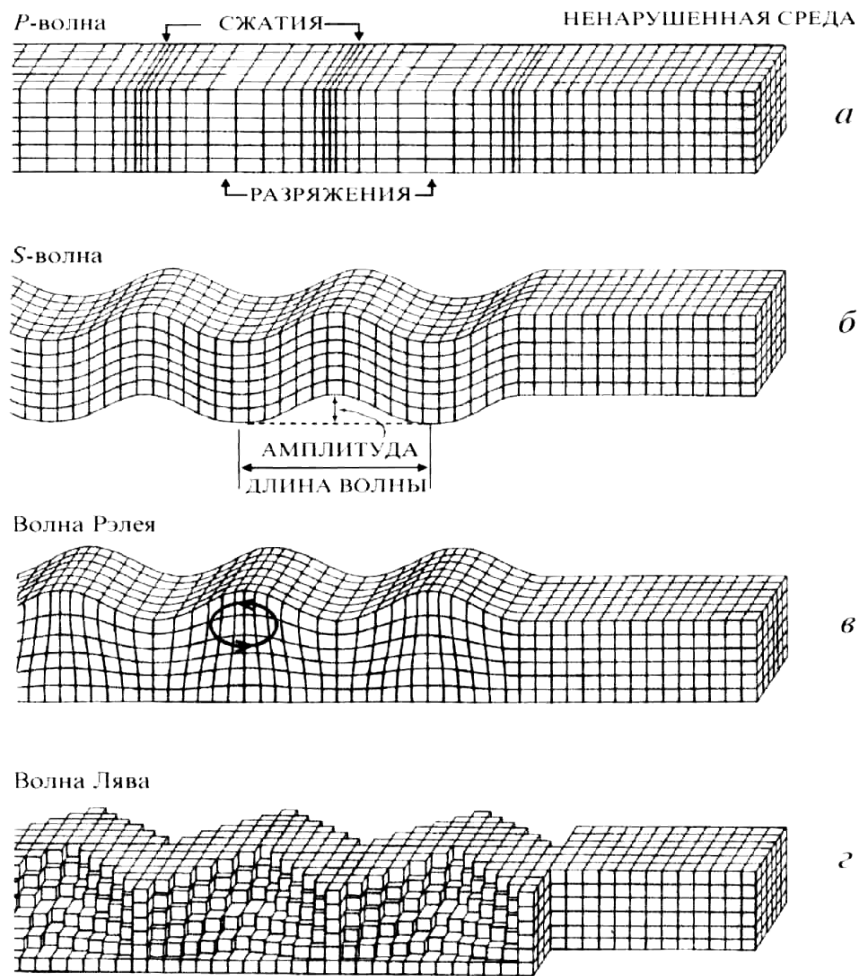


Рис. 1. Характер зміщення ґрунту для різних типів сейсмічних хвиль

Характер зміщення ґрунту для різних типів хвиль вказує, що саме горизонтальні зміщення, які призводять до руйнування, є найбільш небезпечні при сейсмічних подіях [3].

2. Розподіл у часі. Розподіл коливань у пружному середовищі описується хвильовим рівнянням другого порядку [4]:

$$(\lambda + \mu)\text{grad div}U + \mu\Delta^2U + \rho F = \rho(\delta^2U / \delta t^2), \tag{1}$$

де U – зміщення;

λ та μ – пружні сталі середовища;

ρ – його густина;

F – сила, яка діє на середовище.

У випадку відсутності сил, що діють на тіло, розв'язком є хвильові рухи – об'ємні (поздовжні та поперечні) та поверхневі хвилі, швидкості яких визначаються пружними сталими середовища та його густиною.

Зміщення в поздовжній (Vp) та поперечній (Vs) хвилях орієнтовані вздовж та поперек розповсюдження хвиль відповідно, їх швидкості дорівнюють [3, 4]:

$$Vp = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}; \quad (2)$$

$$Vs = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}. \quad (3)$$

З даних формул видно, що швидкість поздовжньої хвилі завжди більше поперечної.

Хвилі Лява (Lq) являють собою різновидність хвиль типу SH , зміщення в яких горизонтальні та орієнтовані перпендикулярно напрямку розповсюдження. Хвилі Лява можуть розповсюджуватись тільки у хвилеводах. Зазвичай однією із стінок хвилеводу служить вільна поверхня Землі, а інша – створюється за рахунок збільшення швидкості розповсюдження поперечних хвиль Vs з глибиною. Крім того, хвилі Лява можуть розповсюджуватись каналами з пониженою швидкістю, які розміщені всередині Землі. До таких каналів належить широко розповсюджений шар понижених швидкостей поперечних хвиль у верхній мантії, на глибинах від 100 до 200 км. Значення швидкості хвиль Лява буде визначатись пружними параметрами середовища (Vs) та шару (Vs'), його товщиною та завжди буде задовольняти нерівності:

$$Vs' < V_L < Vs. \quad (4)$$

Таким чином, найбільші та найменші значення швидкостей поперечних хвиль $V_{S_{\max}}$ та $V_{S_{\min}}$ обмежують значення швидкостей хвиль Релея та Лява наступним чином:

$$V_{S_{\max}} > V_L > V_{S_{\min}}; \quad (5)$$

$$0,92V_{S_{\max}} > V_r > 0,92V_{S_{\min}}; \quad (6)$$

У відповідності до отриманих даних послідовність приходу хвиль від джерела (епіцентру землетрусу або вибуху) на сейсмостанцію буде такою: P , S , а потім поверхневі хвилі – Lr та Lq .

Для визначення швидкості розповсюдження сейсмічних хвиль існує годограф – графік залежності часу розповсюдження хвилі від джерела до сейсмоприймача від епіцентральної відстані.

На рис. 2 представлено годограф, уточнений для умов Північно-західного регіону України на основі статистичних даних про сигнали від землетрусів та сигналів штучного походження з ближньої зони (до 1000 км) [5].

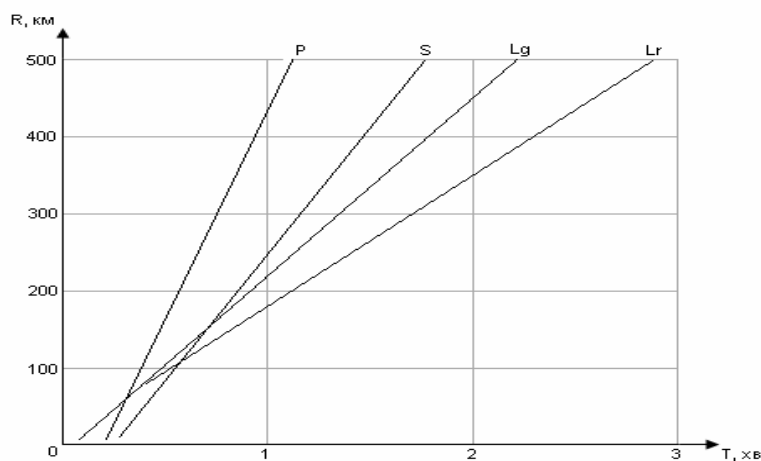


Рис. 2. Годограф сейсмічних хвиль для ближньої зони

Таким чином, враховуючи особливості швидкостей розповсюдження різних типів сейсмічних хвиль у ближній зоні, при відповідній розробці методологічних засад системи оповіщення, які базуються на аналізі першого вступу сейсмічного сигналу – фазі P -хвилі, з'являється можливість здійснювати попередження користувачів про наступні фази сейсмічного сигналу – хвилі S , Lr та Lq .

3. Розподіл енергії за складовими сейсмічного сигналу для землетрусів у ближній зоні. При оцінці розподілу енергії між сейсмічними хвилями необхідно враховувати глибину джерела землетрусу. Більшість землетрусів виникають на глибині не більше 70 км, джерела проміжних землетрусів розміщені від 70 до 300 км, а глибокі землетруси виникають на глибині від 300 до 700 км.

Глибина джерела дуже важлива з погляду сили, а отже і наслідків землетрусу, адже сейсмічні хвилі загасають з відстанню від джерела, однак величина накопичених напруг помітно зростає з глибиною.

Неглибокий поштовх може відчуватися як сильний на невеликій площі, а на великих відстанях від епіцентру його наслідки будуть незначні. Глибокий же поштовх може викликати помірні струси, але на набагато більшій території.

На рис. 3 показано розподіл землетрусів з району гір Вранча за даними Національного інформаційного центру з вивчення землетрусів (NEIC, США) з 1972 року по глибині [6]. Енергія землетрусів, які виникають на глибинах до 40 км незначна (для більшості таких землетрусів службою NEIC магнітуди визначено не було). Це свідчить про те, що основними глибинами виникнення землетрусів у даному регіоні можна рахувати величини від 90 до 170 км.

При поширенні об'ємної сейсмічної хвилі у тривимірному випадку амплітуда зменшується з відстанню, пройденою хвилею від джерела. Амплітуда об'ємної хвилі зменшується, по-перше, через її геометричну розбіжність в усі сторони від епіцентру; це зменшення відбувається зворотно-пропорційно пройденій хвилею відстані; по-друге, амплітуда хвилі зменшується через перехід частини енергії хвилі в тепло внаслідок неідеальної пружності земних надр. Це ослаблення характеризується коефіцієнтом затухання. Коефіцієнт затухання пропорційний частоті сейсмічної хвилі, тому короткі хвилі затухають швидше довгих.

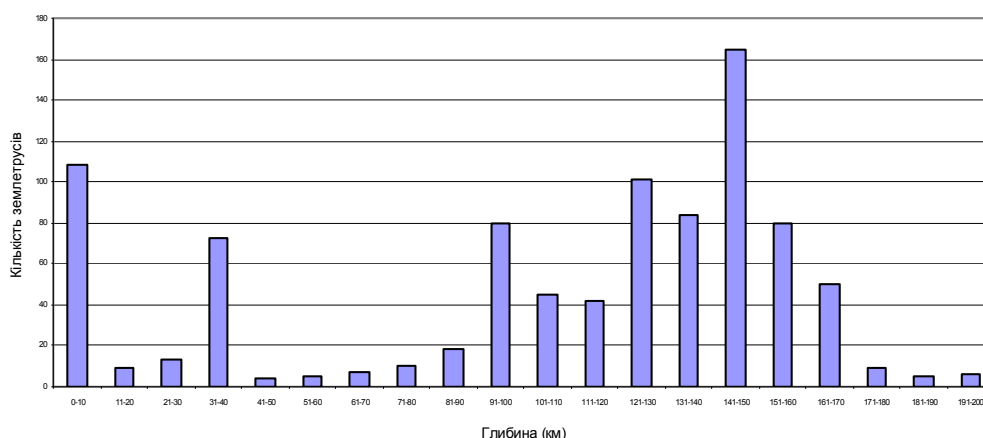


Рис. 3. Розподіл кількості землетрусів у зоні Вранча за глибиною за період спостережень 1972–2005 рр.

Довжини поверхневих хвиль, що виникають при землетрусі, лежать в інтервалі від десятків до багатьох сотень кілометрів. У поверхневих хвилях амплітуда зменшується з глибиною, і на глибині, більшій ніж довжина хвилі, коливання мантиї малі.

Через двовимірне поширення амплітуда поверхневих хвиль з відстанню затухає повільніше, ніж амплітуда об'ємних хвиль. Тому такі хвилі можуть по кілька разів обігати навколо земної кулі. Проте амплітуда поверхневих хвиль затухає експоненціально з глибиною. Більшу частину енергії, що переноситься хвилею, сконцентровано в шарі, товщина якого близька до довжини хвилі. Хоча поверхневі хвилі рухаються приблизно в 2 рази повільніше, ніж S-хвилі, проте вони зазвичай вирізняються найбільшою амплітудою. Поверхневі хвилі викликають найбільші руйнування.

Розглянемо характер перерозподілу енергії сейсмічного сигналу від землетрусів у зоні Вранча. На рис. 4 наведено приклади сигналів від землетрусу в зоні Вранча 27 жовтня 2004 року ($M = 6,5$, координати осередку $46,0 N, 27,0 E, H = 95$), який був зареєстрований сейсмічною станцією, розташованою в м. Малин Житомирської області. Така хвильова картина, а відповідно і характеристики сигналу, будуть схожі для м. Київ.

У табл. 1 наведені енергетичні характеристики фаз сигналу за складовими (відносно загальної енергії сигналу).

Таблиця 1

Розподіл енергетичних характеристик за складовими сигналу від землетрусу в зоні Вранча

Фаза сигналу	Складові запису сейсмічного сигналу		
	Вертикальна складова	Горизонтальна складова (N-S)	Горизонтальна складова (W-E)
P	0,96	1,93	0,44
S	1,29	1,48	3,35
L	19,73	20,52	50,37

Також важливою характеристикою є тривалість кожної фази сейсмічного сигналу. Часом тривалості фази сейсмічного сигналу будемо вважати термін від моменту вступу відповідної фази до часу надходження наступної. Для сигналів від землетрусів із зони Вранча результати розрахунків тривалості фази представлено в таблиці 2.

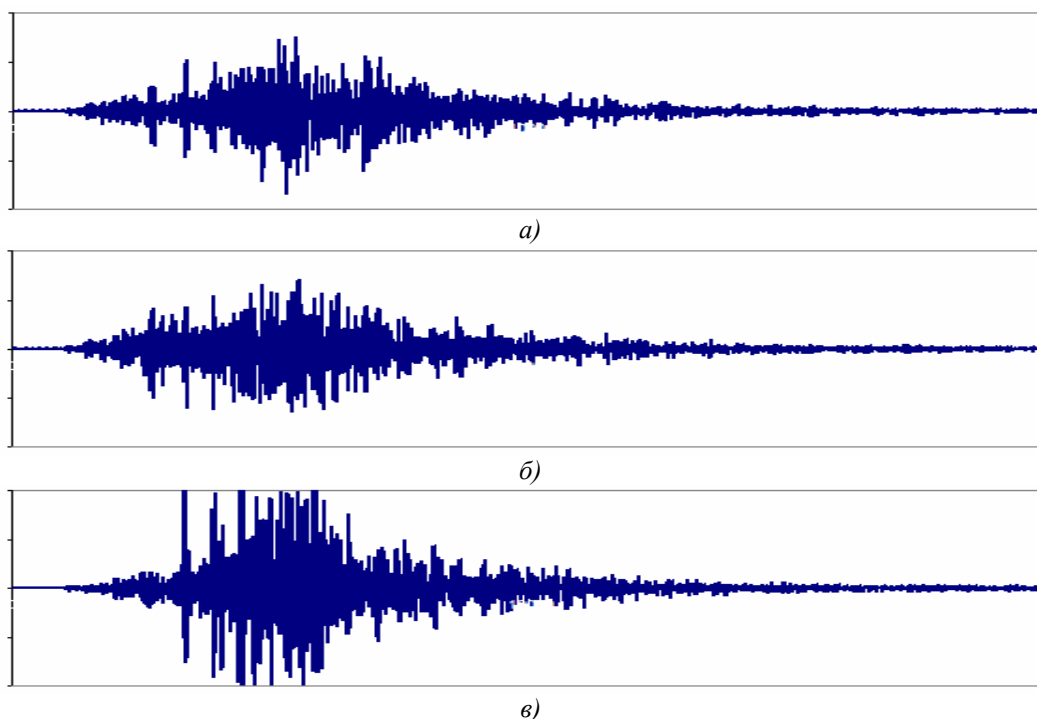


Рис. 4. Приклади запису складових сйсмічного сигналу від землетрусу з району Вранча, зареєстрованого 27 жовтня 2004 року:
а) вертикальна складова; б) горизонтальна складова N-S; в) горизонтальна складова W-E

Таблиця 2
Оцінка тривалості основних фаз сейсмічного сигналу віх землетрусів з зони Вранча

Фаза сигналу	Тривалість, хв:с
P	00:51
S	00:20
L*	10:00

* тривалість залежить від магнітуди джерела

Як видно з табл. 1 та 2, для землетрусів з ближньої зони (на прикладі сигналів від землетрусів із зони Вранча) загальна енергія горизонтальних складових, яка перепадає на S – та L – хвилі складає понад 70 % від загальної енергії сейсмічного сигналу. Враховуючи енергію та час дії цих фаз, а також переважаючий характер зміщення ґрунту, можна зробити висновок, що ці фази є найбільш небезпечні.

4. Отримані інформації про параметри сейсмічного джерела. При виявленні сейсмічного сигналу, як штучного так і природного походження, одним з основних етапів є оцінка параметрів сейсмічного джерела – час події, координати джерела, магнітуда.

У табл. 3 наведені можливості оцінки параметрів сейсмічного джерела за результатами аналізу інформації з трикомпонентної сейсмічної станції (ТКСС) та системи сейсмічного групування (ССГ).

Для визначення координат джерела за допомогою запису окремої трикомпонентної сейсмічної станції [2] попередньо визначають азимут на епіцентр за записом P -хвилі та епіцентральною відстанню з використанням годографа за різницею часу розповсюдження хвиль P та S або P та L . Потім, використовуючи ці параметри, проводиться розрахунок географічної широти ϕ та довготи λ сейсмічного джерела. За часом вступу сигналу та часом розповсюдження сейсмічної хвилі проводиться оцінка часу в джерелі T .

При використанні інформації Системи сейсмічного групування для визначення параметрів джерела необхідно визначення часу перших фаз P -хвиль на кожному елементі системи та годографи даних хвиль для різних глибин джерела [7].

Магнітуда подій визначалася на основі даних про амплітуди, періоди і гіпоцентральної відстані як логарифм максимального зміщення земної поверхні в пункті спостереження. Максимальні зміщення земної поверхні вимірювалися на записах сейсмічних хвиль типу P , S , Lg , Lr .

Таблиця 3

Оцінка параметрів сейсмічного джерела
за результатами аналізу інформації з ТКСС та ССГ

Параметри сейсмічного джерела	Параметри сейсмічного сигналу	
	ТКСС (типи використовуваних хвиль)	Система сейсмічного групування
Координати: Азимут	азимут приходу сейсмічного сигналу (P);	різниця проходу сейсмічного сигналу по сейсмоприймачах сейсмічної групи (локація);
Дальність	– кут виходу сейсмічної хвилі на поверхню (P); – різниця в часі вступу сейсмічних хвиль (P - S - L)	кут виходу сейсмічної хвилі на поверхню, який пов'язаний з швидкістю розповсюдження сейсмічної хвилі повздовж профілю групи
Магнітуда (інтенсивність)	Визначається на основі даних про амплітуду та період зміщення ґрунту, та гіпоцентральної відстань до джерела	
Час події	Визначається як різниця часу першого вступу та часу пробігу сейсмічної хвилі	

Магнітуди (M , m_p) сейсмічних джерел для ближньої зони розраховуються за максимальними амплітудами поздовжніх (P) і поверхневих (L_g , L_R) хвиль за формулою [8].

$$M(m_p) = \lg \frac{A_{\max}}{T_{\max}} + f(h, \Delta^\circ) + K \quad (7)$$

де: A_{\max} – зміщення, яке відповідає максимальній амплітуді хвилі (у мікрометрах);

T_{\max} – період, який відповідає максимальній амплітуді хвилі (у секундах);

$f(\Delta^\circ)$ – калібрувальна функція, залежна від епіцентральної відстані;

K – приведений коефіцієнт (для стандартних сейсмічних каналів $K = 0,05$).

Використання ССГ при вирішенні питання виявлення сейсмічного сигналу та оцінки параметрів його джерела безумовно більш ефективно, ніж використання однокомпонентних сейсмоприймачів або ТКСС. Однак створення такої системи та її експлуатація на декілька порядків дорожче, ніж ТКСС.

Як видно з табл. 3, при використанні інформації з ТКСС за результатами обробки–аналізу першого вступу сейсмічного сигналу від землетрусу (сигналу від сейсмічної події) можна визначити основні параметри сейсмічного джерела, а саме – координату, магнітуду.

Таким чином, враховуючи, з однієї сторони, характер розподілу енергії за окремими фазами сейсмічного сигналу від землетрусів, з другої сторони – особливості умов розповсюдження кожної фази, при реалізації відповідних методологічних засад оцінки параметрів джерела землетрусу, побудованого на аналізі першого вступу сейсмічного сигналу (P -хвилі), з'являється можливість здійснювати упередження користувачів про найбільш небезпечні фази сейсмічного сигналу.

5. Оцінка часу упередження мережею сейсмічних спостережень ГЦСК різних регіонів України для землетрусів із зони Вранча. Проведемо оцінку часу упередження для існуючої мережі сейсмічних спостережень ГЦСК різних регіонів України для землетрусів небезпечного класу із зони Вранча. Вирішення такої проблеми для вказаного регіону не є безпідставним, оскільки велика глибина осередку призводить до того, що коливання від цих землетрусів охоплюють майже всю територію України. Так, у 1986 році сила поштовхів у містах: Одесі, Белграді, Ізмаїлі досягала 6–7 балів, у Києві – 4–5 балів [9]. На рис. 5 представлено характер перерозподілу ізосейст для землетрусів із району Вранча та пункти спостереження ГЦСК.

Відстані та час пробігу основних типів сейсмічних хвиль від умовного центру осередків землетрусів із зони Вранча до основних адміністративних центрів України та найбільш небезпечних об'єктів – атомних електростанцій (АЕС), та розрахункова інтенсивність в них наведені в таблиці 4.

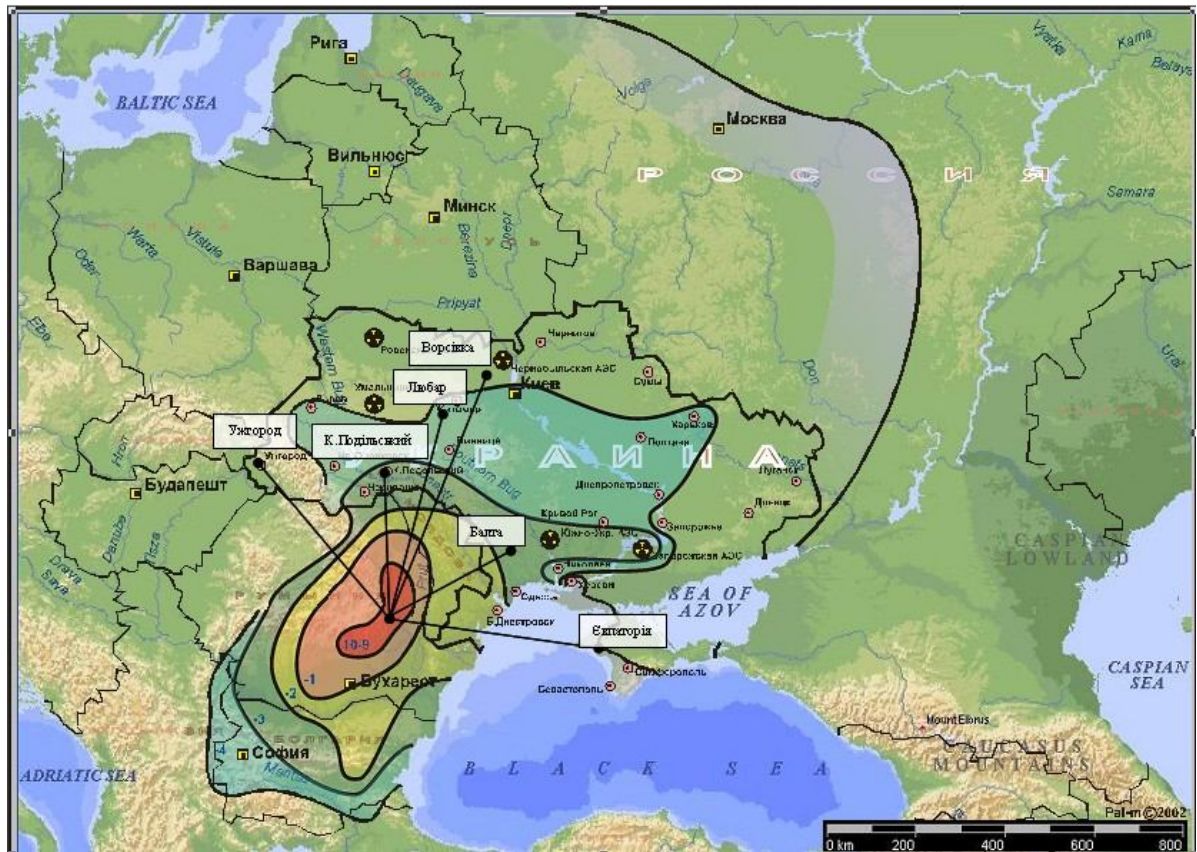


Рис. 5. Ізосейсти для землетрусу з району Вранча та пункти спостереження ГЦСК

Таблиця 4

Розрахунковий час пробігу сейсмічних хвиль
та інтенсивність відгуку в містах України та АЕС
від землетрусу з району гір Вранча
(координати: 46 пн.ш., 26,5 сх.д., глибина 110 км)

Місто	Широта	Довгота	Відстань (км)	P (хх:сс)	S (хх:сс)	L (хх:сс)	Інтенсивність	
							6 балів	7 балів
Ізмаїл	45,30	28,85	198	00:30	00:53	01:13	4,9	5,9
Чернівці	48,30	25,90	260	00:37	01:06	01:31	4,6	5,6
Одеса	46,50	30,75	331	00:45	01:21	01:54	4,3	5,3
Івано-Франківськ	48,85	24,75	343	00:47	01:24	01:57	4,3	5,3
Хмельницький	49,40	27,00	380	00:51	01:31	02:09	4,1	5,1
Вінниця	49,30	28,50	396	00:53	01:35	02:14	4,1	5,1
Півд.-Укр. АЕС	48,05	30,85	400	00:54	01:36	02:15	4,1	5,1
Тернопіль	49,60	25,70	404	00:54	01:37	02:16	4,1	5,1
Миколаїв	47,00	32,00	435	00:58	01:44	02:26	3,9	4,9
Ужгород	48,95	22,25	457	01:00	01:48	02:33	3,9	4,9
Львів	49,85	24,00	466	01:02	01:50	02:36	3,9	4,9
Хмельницька АЕС	50,35	26,60	468	01:04	01:54	02:36	3,9	4,9
Херсон	46,70	32,70	482	01:04	01:54	02:41	3,8	4,8
Житомир	50,30	28,75	506	01:06	01:59	02:48	3,7	4,7
Кіровоград	48,50	32,25	515	01:08	02:01	02:51	3,7	4,7
Рівне	50,65	26,25	517	01:08	02:01	02:51	3,7	4,7
Луцьк	50,70	25,25	530	01:09	02:04	02:57	3,7	4,7
Севастополь	44,60	33,50	569	01:14	02:13	03:10	3,5	4,5
Київ	50,40	30,50	571	01:14	02:13	03:10	3,5	4,5
Черкаси	49,50	32,10	571	01:14	02:13	03:10	3,5	4,5
Рівненська АЕС	51,35	25,75	583	01:17	02:19	03:15	3,5	4,5
Сімферополь	44,90	34,10	605	01:18	02:21	03:22	3,4	4,4
Запорізька АЕС	47,50	34,75	623	01:24	02:30	03:28	3,4	4,4
Чорнобильська АЕС	51,30	30,25	635	01:24	02:30	03:32	3,4	4,4
Запоріжжя	47,90	35,20	692	01:29	02:40	03:52	3,3	4,3
Дніпропетровськ	48,40	35,00	694	01:29	02:40	03:52	3,3	4,3
Чернігів	51,50	31,30	705	01:31	02:42	03:56	3,2	4,2
Полтава	49,60	34,55	721	01:33	02:46	04:01	3,2	4,2
Суми	50,90	34,85	821	01:45	03:08	04:33	3,0	4,0
Харків	50,00	36,25	849	01:48	03:14	04:40	3,0	4,0
Донецьк	48,00	37,85	887	01:53	03:23	04:52	2,9	3,9
Луганськ	48,60	39,60	1027	02:10	03:53	05:37	2,7	3,7

Мережа трикомпонентних сейсмічних станцій системи спостережень ГЦСК НКАУ включає такі пункти (рис. 5):

- Кам'янець-Подільський (Хмельницька обл.);
- Балта (Одеська обл.);
- Ужгород (Закарпатська обл.);
- Любар (Житомирська обл.);
- Євпаторія (АРК);
- Малин (Житомирська обл.).

У табл. 5 наведені результати розрахунків відстаней від пунктів спостереження ГЦСК до умовного центру осередків землетрусів із зони Вранча та часу пробігу основних типів сейсмічних хвиль.

Таблиця 5

Розрахунковий час пробігу сейсмічних хвиль до пунктів спостереження ГЦСК від землетрусу з району гір Вранча (координати: 46 пн.ш., 26,5 сх.д., глибина 110 км)

Пункт спостереження	Відстань (км)	P (хх:сс)	S (хх:сс)	L (хх:сс)
Кам.-Подільський	284	00:40	01:11	01:38
Балта	324	00:44	01:20	01:51
Ужгород	431	00:57	01:43	02:25
Любар	446	00:59	01:46	02:29
Євпаторія	536	01:10	02:05	02:58
Малин	558	01:12	02:09	03:06
Севастополь	584	01:16	02:16	03:15

Час попередження пункту спостереження для відповідного регіону (об'єкта) визначався як:

$$T_{y_{ij}} = T_{s_i} - T_{p_j} \tag{8}$$

де $T_{y_{ij}}$ – час попередження i -го об'єкта j -м пунктом спостереження;

T_{s_i} – час пробігу S -хвилі від певного сейсмонебезпечного регіону до i -го об'єкта оповіщення;

T_{p_j} – час пробігу P -хвилі від певного сейсмонебезпечного регіону до j -го пункту спостереження.

В табл. 6 наведені результати розрахунків відстаней від сейсмічних станцій Румунії до умовного центру осередків землетрусів із зони Вранча та часу пробігу основних типів сейсмічних хвиль.

Таблиця 6

Розрахунковий час пробігу сейсмічних хвиль до сейсмічних станцій Румунії від землетрусу з району гір Вранча координати: 46 пн.ш., 26,5 сх.д. (глибина 110 км)

Станція	Широта	Довгота	Відстань (км)	P (хх:сс)	S (хх:сс)	L (хх:сс)
VRI	45.866	26.7277	22	00:15	00:27	00:35
MLR	45.491	25.9456	71	00:17	00:31	00:43
BUC1	44.348	26.0281	187	00:29	00:51	01:10
IAS	47.193	27.5617	212	00:25	00:45	01:17
DRGR	46.792	22.7111	303	00:42	01:15	01:45
TIRR	44.458	28.4128	320	00:33	00:59	01:50

В табл. 7 наведені результати розрахунків часу попередження елементами мережі сейсмічних спостережень ГЦСК НКАУ основних адміністративних центрів України та АЕС, розташованих та території України.

Як видно з таблиці, найменший час попередження (13–57 секунд) перепадає на Західні та Південно-Західні регіони. Одна з можливостей збільшення часу попередження для вказаних регіонів є використання інформації з сейсмічних станцій інших держав у рамках міжнародного співробітництва. Для землетрусів із зони Вранча найбільш ефективно є використання в оперативній роботі інформації з румунських сейсмічних станцій, оскільки більша частина з них знаходиться безпосередньо в межах вказаної сейсмонебезпечної зони.

Як видно з табл. 7, використання інформації з цих станцій дає можливість збільшити час попередження для Південно-Західних та Західних регіонів до 38–82 секунд.

Таблиця 7

Результати розрахунків часу упередження елементами мережі сейсмічних спостережень ГЦСК НККУ
адміністративних центрів України та АЕС розташованих на території України

Місто, об'єкти	ТКСС ГЦСК НККУ						ТКСС Румунії					
	Кам.- Подільський	Балта	Ужгород	Любар	Сьваторія	Ворсівка	VRI	MLR	BUC1	IAS	DRGR	TIRR
Ізмаїл	0:13	0:09	-	-	-	-	0:38	0:36	0:24	0:28	0:11	0:20
Чернівці	0:26	0:22	0:09	0:07	-	-	0:51	0:49	0:37	0:41	0:24	0:33
Одеса	0:41	0:37	0:24	0:22	0:11	0:09	1:06	1:04	0:52	0:56	0:39	0:48
Івано-Франківськ	0:44	0:40	0:27	0:25	0:14	0:12	1:09	1:07	0:55	0:59	0:42	0:51
Хмельницький	0:51	0:47	0:34	0:32	0:21	0:19	1:16	1:14	1:02	1:06	0:49	0:58
Вінниця	0:55	0:51	0:38	0:36	0:25	0:23	1:20	1:18	1:06	1:10	0:53	1:02
Південно-Українська АЕС	0:56	0:52	0:39	0:37	0:26	0:24	1:21	1:19	1:07	1:11	0:54	1:03
Тернопіль	0:57	0:53	0:40	0:38	0:27	0:25	1:22	1:20	1:08	1:12	0:55	1:04
Миколаїв	1:04	1:00	0:47	0:45	0:34	0:32	1:29	1:27	1:15	1:19	1:02	1:11
Ужгород	1:08	1:04	0:51	0:49	0:38	0:36	1:33	1:31	1:19	1:23	1:06	1:15
Львів	1:10	1:06	0:53	0:51	0:40	0:38	1:35	1:33	1:21	1:25	1:08	1:17
Хмельницька АЕС	1:14	1:10	0:57	0:55	0:44	0:42	1:39	1:37	1:25	1:29	1:12	1:21
Херсон	1:14	1:10	0:57	0:55	0:44	0:42	1:39	1:37	1:25	1:29	1:12	1:21
Житомир	1:19	1:15	1:02	1:00	0:49	0:47	1:44	1:42	1:30	1:34	1:17	1:26
Кіровоград	1:21	1:17	1:04	1:02	0:51	0:49	1:46	1:44	1:32	1:36	1:19	1:28
Рівне	1:21	1:17	1:04	1:02	0:51	0:49	1:46	1:44	1:32	1:36	1:19	1:28
Луцьк	1:24	1:20	1:07	1:05	0:54	0:52	1:49	1:47	1:35	1:39	1:22	1:31
Севастополь	1:33	1:29	1:16	1:14	1:03	1:01	1:58	1:56	1:44	1:48	1:31	1:40
Київ	1:33	1:29	2:13	1:14	1:03	1:01	1:58	1:56	2:13	1:48	1:31	1:40
Черкаси	1:33	1:29	1:16	1:14	1:03	1:01	1:58	1:56	1:44	1:48	1:31	1:40
Рівненська АЕС	1:39	1:35	1:22	1:20	1:09	1:07	2:04	2:02	1:50	1:54	1:37	1:46
Сімферополь	1:41	1:37	1:24	1:22	1:11	1:09	2:06	2:04	1:52	1:56	1:39	1:48
Запорізька АЕС	1:50	1:46	1:33	1:31	1:20	1:18	2:15	2:13	2:01	2:05	1:48	1:57
Чорнобильська АЕС	1:50	1:46	1:33	1:31	1:20	1:18	2:15	2:13	2:01	2:05	1:48	1:57
Запоріжжя	2:00	1:56	1:43	1:41	1:30	1:28	2:25	2:23	2:11	2:15	1:58	2:07
Дніпропетровськ	2:00	1:56	1:43	1:41	1:30	1:28	2:25	2:23	2:11	2:15	1:58	2:07
Чернігів	2:02	1:58	1:45	1:43	1:32	1:30	2:27	2:25	2:13	2:17	2:00	2:09
Полтава	2:06	2:02	1:49	1:47	1:36	1:34	2:31	2:29	2:17	2:21	2:04	2:13
Суми	2:28	2:24	2:11	2:09	1:58	1:56	2:53	2:51	2:39	2:43	2:26	2:35
Харків	2:34	2:30	2:17	2:15	2:04	2:02	2:59	2:57	2:45	2:49	2:32	2:41
Донецьк	2:43	2:39	3:23	2:24	2:13	2:11	3:08	3:06	3:23	2:58	2:41	2:50
Луганськ	3:13	3:09	2:56	2:54	2:43	2:41	3:38	3:36	3:24	3:28	3:11	3:20

Висновки. Характер перерозподілу енергії за фазами сейсмічного сигналу, максимум якої припадає на *S* та *L* хвилі, час дії цих хвиль, а також переважний характер зміщення ґрунту для цих фаз, який і призводить до основних руйнувань, вказує, що саме ці хвилі є найбільш небезпечні.

Враховуючи особливість швидкостей розповсюдження основних фаз сейсмічного сигналу а також можливість визначення параметрів сейсмічного джерела за результатами обробки першого вступу (*P*-хвилі), з'являється можливість здійснювати попередження користувачів про найбільш небезпечні фази сейсмічного сигналу від потужних землетрусів із ближньої зони.

Проведена оцінка часу попередження мережею сейсмічних спостережень ГЦСК НКАУ основних адміністративних центрів України та АЕС для землетрусів із зони Вранча. За результатами розрахунків видно, що найменший час попередження припадає на Західні та Південно-Західні регіони. Збільшення часу попередження для цих регіонів може бути завдяки використанню інформації з іноземних сейсмічних станцій, насамперед Румунських.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Негода О.О.* Космічне право України: Збірник нормативно-правових актів та міжнародних документів. – К.: Видавничий дім “Ін Юре”, 1999. – 264 с.
2. *Кедров О.К.* Сейсмические методы контроля ядерных испытаний. – М.; Саранск: Крас. Окт., 2005. – 420 с.
3. *Саваренский Е.Ф.* Сейсмические волны. – М.: Недра, 1972. – 293 с.
4. *Антикаев Ф.Ф.* Сейсмические колебания при землетрясениях и взрывах. – М.: Наука, 1969. – 104 с.
5. *Андрущенко Ю.А.* Контроль промислових та аварійних вибухів на території України сейсмічними станціями Головного центру спеціального контролю // Геофизический журнал – № 3. – Том 28. – 2006. – С. 110–115.
6. www.neic.usgs.gov
7. *Напалков Ю.В.* О теории группирования сейсмоприемников // Прикладная геофизика. – Вып. 27. – 1960.
8. *Болт Б.* Землетрясения. – М.: Мир, 1981. – 256 с.
9. *Чекунов А.В., Кутас В.В., Харитонов О.М.* Сейсмичность Киева // Геологический журнал. – № 2. – 1992. – С. 24–33.

ГОРДИЄНКО Юрій Олексійович – інженер науково-дослідницького випробувального відділу Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

– обробка геофізичної інформації;

– прогноз землетрусів.

E-mail: ua_gordienko@mail.ru

КАПЛАУШЕНКО Валерій Миколайович – спеціаліст відділу оперативного Головного центру спеціального контролю Національного космічного агентства України.

Наукові інтереси:

– обробка геофізичної інформації.

Подано 20.04.2006