

Сейсмологічні дослідження для безпеки ЧАЕС [Електронний ресурс] / В. І. Старостенко та ін. // Національна академія наук України — Чорнобиль: Зб. наук. пр. / НАН України. Нац. б-ка України ім. В. І. Вернадського; Редкол.: О. С. Онищенко (гол.) та ін. — К., 2006. — Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/books/2006/chernobyl/svi.pdf>.

---

**УДК 550.34**

## **Сейсмологічні дослідження для Чорнобильської АЕС**

*Старостенко В. І., Кендзера О. В., Омельченко В. Д.,  
Вербицький С. Т., Вербицький Ю. Т., Амашукелі Т. А.,  
Лісовий Ю. В., Рожок Н. І.*

*Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України  
03680, м.Київ-142, пр. Палладіна 32, тел./факс:8-044-423-81-43,  
E-mail: kenzera@igph.kiev.ua*

### **Abstract**

In connection with designing of New Safe “Confinement” above “Shelter” object there was a necessity of the design accelerogramms and response spectra construction for modeling of the maximal settlement earthquake (seismic level SL-2) on the Chernobyl Nuclear Power Plant site. The technique of this task decision demands the registration of seismic events directly on a NPP site. For this purpose nearby “Shelter” the seismic station equipped with broadband seismometers Guralp was established. From 8 of September 2004 till 24 of March 2005 the continuously seismic supervision were carried out. Some little intermediate subcrust earthquakes from Vrancea zone and many remote earthquakes were registered. These records, mutually with the data of other geology-geophysical researches, were used for generation of design accelerogramms and singular oscillator’s response spectra for modeling of effects of design earthquakes at the Chernobyl NPP site from Vrancea zone and local earthquakes source zones.

### **Вступ**

Необхідність проведення додаткових досліджень сейсмічної ситуації в районі розташування Чорнобильської АЕС викликана потребою в одержанні науково обґрунтованих параметрів сейсмічної небезпеки майданчика її розташування для забезпечення проектування і спорудження нового безпечного «Конфайнмента» для об’єкту «Укриття» над зруйнованим під час аварії 26 квітня 1986 р. четвертим енергоблоком станції. Спорудження «Конфайнмента» забезпечить мінімізацію ризику

повторного ядерного забруднення довкілля, дозволить зупинити шкідливі наслідки найкрупнішої техногенної катастрофи, якої у XX столітті зазнали народи Східної Європи, і в першу чергу населення України, Білорусі та Росії [1].

Сейсмічний ризик для населення і економіки країни визначається рівнем природної сейсмічної небезпеки території та уразливістю до сейсмічних впливів об'єктів, розташованих на її території. Парадокс полягає у тому, що на територіях з відносно низьким рівнем природної сейсмічної небезпеки, до яких відноситься платформна частина території України, більшість споруд проектують не сейсмостійкими, внаслідок чого вони є не захищеними (сейсмічно уразливі) від не частих, але потенційно можливих, сейсмічних впливів. З іншого боку, через низьку повторюваність землетрусів, на таких територіях є мало реальних даних про поведінку ґрунтів в основі споруд при можливих місцевих землетрусах. Як наслідок, сейсмічний ризик слабо сейсмічних територій і встановлених на них техногенно- і екологічно- небезпечних об'єктів є достатньо високим.

Протягом довгого часу вивчення сейсмічної небезпеки в Україні пов'язувалося лише з територіями, розташованими в так званих сейсмоактивних зонах, приурочених до окраїн тектонічних платформ, гірських споруд і передгірських прогинів. Одержана за останній час у світі сейсмологічна інформація свідчить про те, що внутрішні частини древніх платформ, які раніше відносилися до асейсмічних, також піддаються сучасним деформаційним процесам, хоча і більш повільним ніж їх краї.

Порушення стійкої рівноваги в приповерхневому шарі земної кори в районах з природною геодинамічною активністю приводить до накопичення на певних ділянках геологічного середовища тектонічних напружень, які при перевищенні границі міцності матеріалу раптово вивільнюються викликаючи землетруси.

Збільшення кількості крупних промислових об'єктів, ріст їх потужності та ускладнення використовуваних на них технологічних процесів – підвищує імовірність виникнення техногенних катастроф, спровокованих землетрусами.

До останнього часу слабка сейсмічність Східно-Європейської платформи (СЄП) не була предметом постійного контролю. Реєстрація землетрусів проводилася епізодично тимчасовими мережами пунктів сейсмічних спостережень. У 1998–2003 роках Інститут геофізики НАН України встановлював на термін від 1 до 4 років тимчасові мережі автономних аналогових (АСС-6/12) і цифрових (DAS-02 і DAS-03) сейсмічних станцій в районах розміщення Чорнобильської, Рівненської і Хмельницької АЕС, а також поблизу Ново-Дністровської ГЕС.

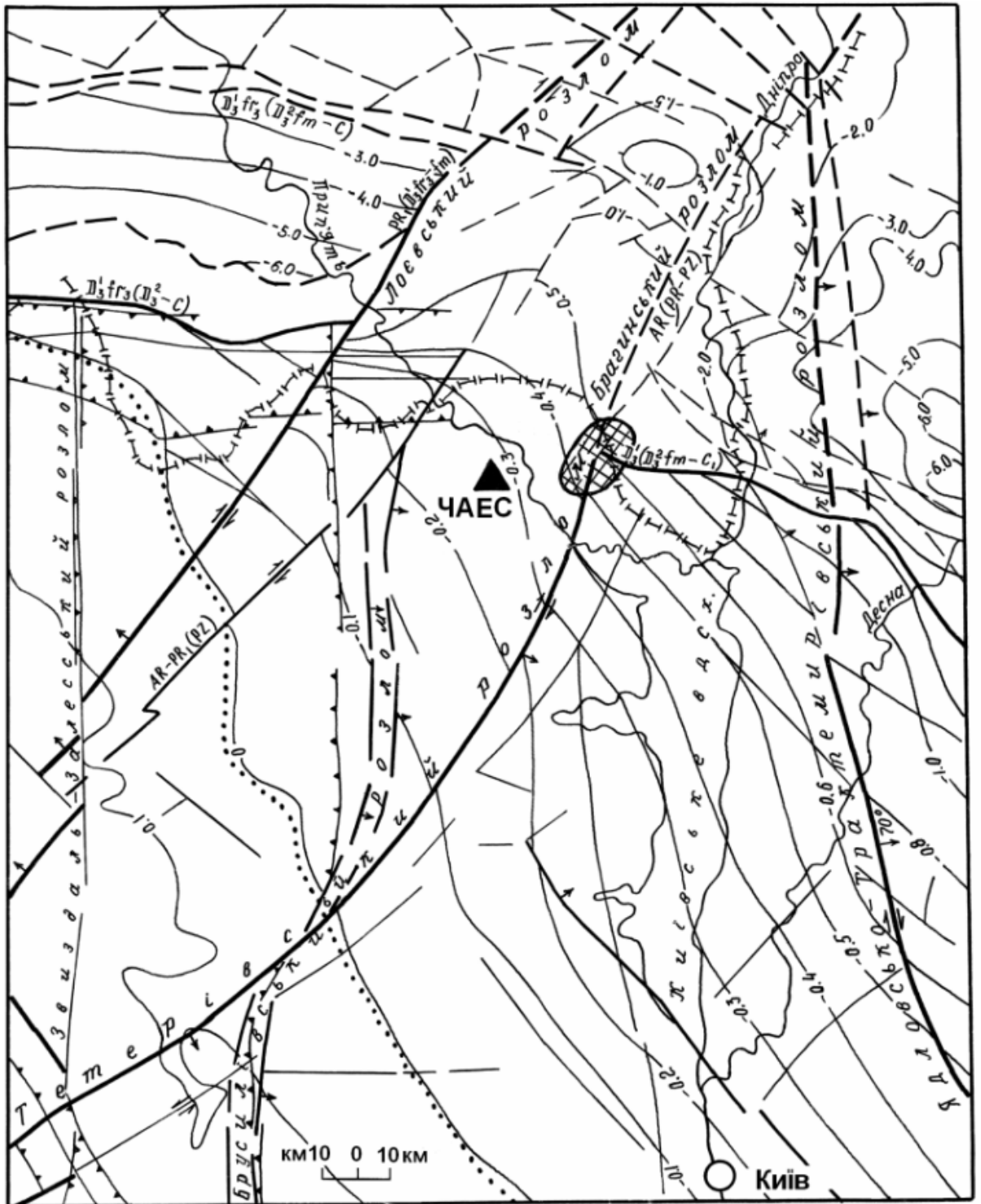
Основною задачею інструментальних спостережень було вивчення слабких сейсмічних поштовхів, сеймотектонічного шуму і сейсмічної емісії, які пов'язують з незначними переміщеннями блоків

земної кори по активних, або активізованих, тектонічних розломах при зміні напружено-деформованого стану середовища. Необхідність проведення досліджень в районах розміщення важливих для народного господарства споруд визначається тим, що слабкі локальні землетруси з малою глибиною вогнищ, які відбуваються поблизу майданчиків розташування техногенно- і екологічно-небезпечних об'єктів, можуть викликати небезпечні сейсмічні впливи, порівняльні за величиною з впливами від сильних, але більш віддалених, сейсмічних подій. Недостатньо вивченим залишається вплив місцевих землетрусів на збурення технологічних процесів на АЕС, хімічних заводах тощо.

### **Тектоніка району розташування ЧАЕС**

За даними Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (ІГФ НАН України) [2] тридцяти кілометрова зона і проммайданчик ЧАЕС – розташовані на стику двох структур СЄП: Українського щита і Дніпровсько-Донецького авлакогену (рис. 1).

За даними [3] земна кора в районі тридцяти кілометрової зони є порівняно монотонною і має потужність до 40 км. Базальтовий шар – товщиною понад 25 км, гранітний – 15-17 км. Значні неоднорідності (зони аномальної густини) тут не спостерігаються. Кристалічні породи фундаменту платформи в цьому районі залягають на глибині 300-400 м [4]. По системі розломів вони занурюються у північно-східному напрямку на значні глибини і виходять на поверхню або під малопотужні мезокайнозойські відклади у південно-західному напрямку.



- PR1-2 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 0.2 7
- 8
- 9

Рис. 1. Геолого-тектонічна карта району Чорнобильської АЕС. Розривні порушення: 5 – літофасціальні структурні зони в докембрії; 6 – межа Українського щита; 7 – ізогіпси підшови плитових комплексів древньої платформи в км; 8 – Чорнобильська атомна електростанція; 9 – область джерел сейсмічної емісії.

Кристалічний фундамент "зони відчуження" – складений гранітними відкладами кіровоградсько-житомирського комплексу, які відносяться до нижнього протерозою (приблизно 2 млрд. років). Його особливістю є дрібно блокова структура (дивись рис. 2), обумовлена приуроченістю до довго живучої активної тектонічної зони.

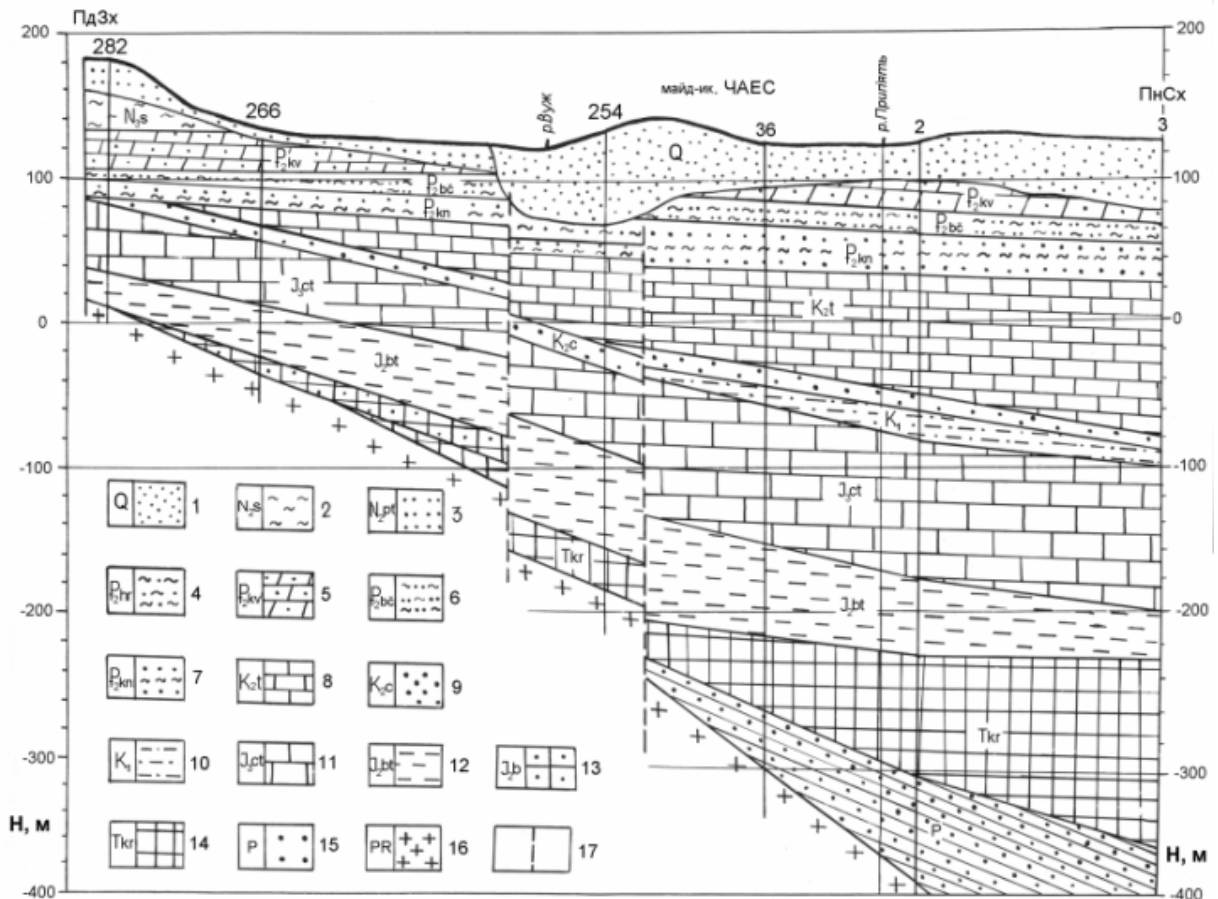


Рис. 2. Геологічний розріз земної кори в районі Чорнобильської АЕС  
 1 – піски, моренні суглинки, глини; 2 – товща строкатих глин; 3 – піски, пісковики, глини; 4 – глини піщаністі, піски глауконітові; 5 – мергелі, алеврити, піски глауконітові; 6 – піски глауконітові, глинисті пісковики; 7 – піски, пісковики, алевроліти, глини вуглисті; 8 – крейда, мергель; 9 – піски глауконітові, кремені, пісковики, рідше мергелі, вапняки; 10 – алевроліти, глини, пісковики глинисті; 11 – вапняки, мергелі, вапняковисті алевроліти; 12 – алевроліти, глини, пісковики, піски; 13 – пісковики, глинисті піски; 14 – піски, гравеліти, конгломерати, строкатоколірні глини; 15 – алевроліти, піски, пісковики; 16 – кристалічні породи фундаменту; 17 – розломи.

Розміри блоків, піднятих або опущених один відносно одного, вимірюються (за даними геофізичних робіт і буріння) першими десятками квадратних кілометрів, а амплітуда зміщень по розломах може досягати від декількох десятків до декількох сотень метрів. Подібні зміщення

неодноразово повторюються і обумовлюють суттєву відмінність геологічної будови піднятих і опущених блоків, яка, у свою чергу, визначає динаміку гідрогеологічних процесів в осадових породах.

Достовірно відомі палеозойські відклади представлені пермськими піщанистими строкатими глинами, аргілітами і дрібнозернистими пісковиками потужністю понад 50 м, які залягають на гранітах кіровоградського комплексу.

Найдавнішими утвореннями мезозойського віку в цьому регіоні, є аргіліти і глинисті сланці на яких залягають алевроліти і глинисто-карбонатні породи юрської системи. В сукупності вони є водопідпірним шаром для вище розміщених водоносних горизонтів. Загальна потужність нижнемезозойських відкладів досягає 150-200 м. Вище в розрізі розташовуються піщані відклади сеномана, які в межах прилеглих районів Дніпровсько-Донецької западини є основним водоносним горизонтом. Потужність цього горизонту не постійна, вона змінюється в північно-східному напрямку від декількох до десятків метрів. Повсюдно сеноманський горизонт перекритий потужною (30-50 м) товщею мергелів і крейди туронського ярусу, що є водопідпірним шаром для вище розташованих у розрізі водоносних шарів загальною потужністю 20-35 м. Передбачається, що в заплавах частинах р. Прип'ять цей водоносний горизонт може сполучатися з водами, які циркулюють в алювіальних відкладах четвертинної системи [4, 5].

Вище залягає товща мергелів кийвського ярусу, потужність яких залежить від інтенсивності розмиву і змінюється від 17 до 30 м, відносно заплави вищого рівня. Так як тридцяти кілометрова зона в районі р. Прип'ять майже повністю розташована в старій заплаві, четвертинні відклади майже повсюдно тут представлені кварцовими алювіальними пісками, потужність яких максимальна в межах другої надпойменної тераси, в якій вона може досягати 40 м.

### **Сейсмічна небезпека майданчика ЧАЕС**

До восьмидесятих років ХХ століття вивчення сейсмічної небезпеки в Україні пов'язувалося лише з сейсмоактивними зонами, приуроченими до країв тектонічних платформ, гірських споруд і предгірних прогинів. За останній час у світі появилось багато даних про те, що внутрішні частини древніх платформ, які раніше вважалися стабільними, також піддаються сучасним деформаційним процесам, хоча і більш повільним, ніж їх краї.

За даними [6-9], лише в ХХ столітті катастрофічні землетруси відбулися на наступних платформах: Північноамериканській (Канадський щит)  $M = 6,8$ , 16.11.1920 р.; Північноафриканській,  $M = 7,0$ , 19.04.1935 р.; Індостанській,  $M = 6,5$ , 10.12.1967 р.; Австралійській,  $M = 6,8$ , 14.10.1968 р.; Південнокитайській,  $M = 7,8$ , 16.08.1976 р.; Туранській плиті (Туркменія),  $M = 7,0 \div 7,3$ , 1976 і 1984 роки. З огляду на це, при оцінці

сейсмічної ситуації в районах розміщення крупних промислових об'єктів на ССП не можна ігнорувати потенційну небезпеку виникнення сейсмічних подій високого енергетичного рівня, хоча вони тут відбуваються значно рідше, ніж в активних районах.

На території ССП вогнища землетрусів спостерігалися практично повсюди. Магнітуда сейсмічних подій була, переважно, в межах  $M=3,0\div 4,0$ , рідше –  $M=5,0\div 5,8$ . Інтенсивність струшувань в епіцентрі при найсильніших землетрусах не перевищувала 7 балів. Виключенням є лише район сучасних активних грабенів Білого моря. На платформній частині України є дані лише про декілька відчутних місцевих землетрусів. Їх вогнища залягали в межах земної кори, внаслідок чого сейсмічний ефект мав локальний характер. Інтенсивність сейсмічних струшувань в епіцентральної зоні досягала 6-7 балів за шкалою MSK-64. За історичними даними, приведеними в [10], такі землетруси відбулися на межі Кіровоградської і Черкаської областей – 7 балів (1873 р.); в Донецькій області (район Константинівки) –  $6\pm 1$  бал (1937 р.); Харківської області – 5-6 балів (1858 і 1913 роки); Чернігівської області –  $5\pm 1$  бал (1905 р.) та в ряді інших місць. В роботі [11] приводяться дані про реєстрацію протягом 2003 року в південній частині Вінницької області 12 слабких землетрусів.

Під час землетрусу 2002 року в смт. Микулинці Тернопільської області з магнітудою  $M=4.2$  і глибиною вогнища  $H=5-10$  км, інтенсивність якого в епіцентральної зоні оцінюється в 6 балів [12], на невеликих ділянках ґрунту і в капітальних спорудах з'явилися тріщини шириною декілька сантиметрів. Згідно шкали сейсмічної бальності MSK-64 такі ефекти притаманні значно сильнішим землетрусам. Афтершоки спостерігалися населенням Тернопільської області ще протягом 1,5 місяця. Такі явища підтверджують загальне правило, що неглибокі вогнища землетрусів на платформах можуть викликати руйнівні ефекти навіть при невисоких значеннях магнітуд ( $M \leq 4,5$ ).

Згідно карт сейсмічного районування території СРСР: СР-69 і СР-78, на які орієнтувалися проектувальники і будівельники ЧАЕС, її майданчик знаходиться в 5-ти бальній зоні прогнозованих сейсмічних впливів. З огляду на це, дослідження впливу місцевої сейсмічності для обґрунтування вибору будівельного майданчика нормативними документами тут не передбачалося. В результаті, питання оцінки сучасної активності тектонічних порушень поблизу майданчика залишилося не вивченим. Справжній рівень сейсмічної небезпеки району розміщення Чорнобильської АЕС довелося досліджувати вже після катастрофи 1986 року.

В період з 1991 по 1996 роки ряд наукових і дослідницьких інститутів (Інститут геофізики НАН України, Інститут геологічних наук НАН України, Київський інститут досліджень і вишукувань «Енергопроект» Міненерго України та ін.) провели роботи з додаткового вивчення глибинної будови літосфери району розташування ЧАЕС і організували

сейсмічні спостереження в районі розташування об'єкту «Укриття». Розташування сейсмічних станцій показано на рис. 3.

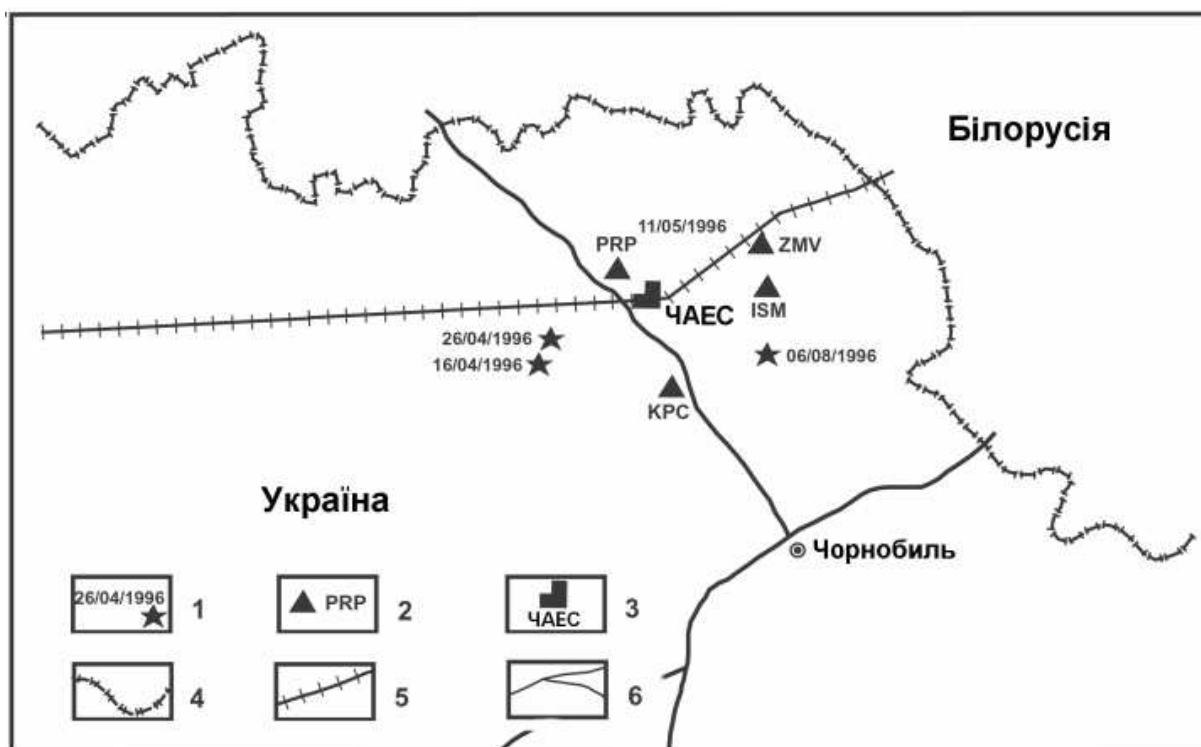


Рис. 3 . Тимчасова мережа сейсмічних станцій ІГФ НАН України, на якій проводилися спостереження поблизу ЧАЕС у 1996 році: 1 – положення епіцентрів зареєстрованих землетрусів і їх дати; 2 – тимчасові сейсмічні станції (назва скорочена); 3 – положення ЧАЕС; 4 – державний кордон; 5 – залізниця; 6 – автомобільні дороги.

За короткий час проведення інструментальних спостережень у 1996 році недалеко від ЧАЕС було зареєстровано чотири місцеві землетруси [13,14] з вогнищами приуроченими до тектонічних розломів. Положення вогнищ показано на рис. 3. На рис. 4 представлений трикомпонентний запис на станції «Копачі» (КРС) місцевого землетрусу 16.04.1996 р. з параметрами: час у вогнищі – 00 годин 50 хвилин 8,1 секунди за Гривічем, північна широта – 51,353 градуси, східна довгота – 29,994 градуси, магнітуда –  $M_d = 0,9$ .



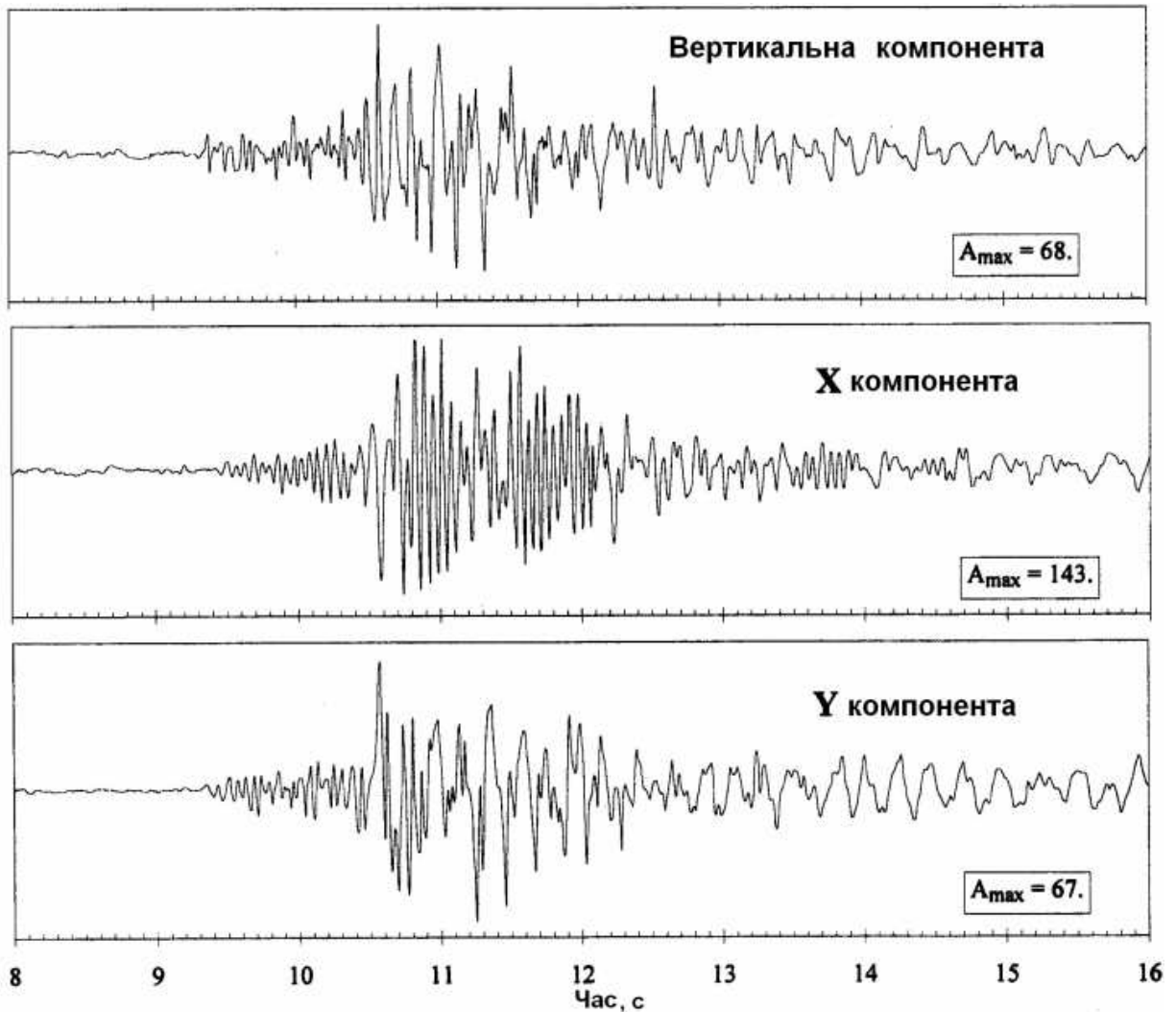


Рис. 4. Запис місцевого землетрусу 16.04.1996 р.  
на сейсмічній станції «Копачі»

Нажаль, створену в районі розташування ЧАЕС сейсмічну мережу довелося згорнути в кінці 1996 року, внаслідок припинення фінансування.

Майданчик ЧАЕС розташований на стику Українського щита і Дніпровсько-Донецького авлакогену, поблизу від перетину крупних регіональних Південно-Прип'ятського і Тетерівського глибинних розломів. Окрім того, в районі розташування майданчика ЧАЕС наявні численні тектонічні порушення, серед яких особливої уваги заслуговують морфоструктурно-неотектонічні вузли з високим ступенем тектонічної подрібненості і активізацією екзогенних процесів в осадовому чохла [13].

Результати геоморфологічних досліджень показали, що поблизу майданчика ЧАЕС виділяються декілька розломів з ознаками тектонічної активізації. До них відносяться: Південна прибортова зона Прип'ятського прогину, західне і східне відгалуження Тетерівського розлому і північно-західне відгалуження Південної прибортової зони Дніпровсько-Донецького прогину. В результаті сейсмічних спостережень була

встановлена зона підвищеної сейсмічної емісії поблизу АЕС, приурочена до зони перетину Тетерівського лініаменту з Південно-Прип'ятською зоною глибинного розлому [14] (дивись рис. 1).

Прямим підтвердженням активізації розташованої поблизу АЕС Тетерівської розломної зони служить зазначений вище землетрус 3.01.2002 р. в Тернопільській області, який відбувся на південно-західному продовженні зони (відносно ЧАЕС) [12].

Проведені в 1989 році Київським інститутом «Енергопроект» роботи з сейсмічного мікрорайонування промислового майданчика ЧАЕС, дозволили встановити, що з врахуванням можливого підйому під час весняних паводків рівня ґрунтових вод до глибини 5,0 м, у відповідності до норм [15, таблиця 1\*], ґрунти на майданчику ЧАЕС слід віднести до ґрунтів III-ої категорії за сейсмічними властивостями.

В результаті комплексу сейсмологічних і геолого-геофізичних досліджень [2] було встановлено, що сейсмічна небезпека Чорнобильської АЕС визначається Карпатськими землетрусами із зони Вранча (Румунія) і місцевими землетрусами платформної території України.

Рішенням науково-технічної ради Держбуду України від 14.01.1998 р. була затверджена карта сейсмічного мікрорайонування промплощадки ЧАЕС, розроблена НАН України спільно з Київським інститутом «Енергопроект». Остаточна оцінка інтенсивності сейсмічних впливів за шкалою MSK-64 для об'єкту «Укриття» становить:

для проектного землетрусу (ПЗ) з періодом повторюваності один раз в 100 років – 5 балів;

для максимального розрахункового землетрусу (МРЗ) з періодом повторюваності один раз в 10000 років – 6 балів.

Розробка «Концептуального проекту Нового Безпечного Конфайнмента (НБК)» і його технічних рішень щодо врахування сейсмічних впливів базувалися на вимогах документа ДС-101 «Проектні критерії і вимоги до НБК», згідно якому, крім вимог БНіП II-7-81\* «Будівництво в сейсмічних районах. Норми проектування» [15] і нормативного документа Держбуду України SIP-P-TM-21-330-DSN-089-01 [16], НБК повинен відповідати вимогам, які пред'являються до об'єктів I-й категорії сейсмостійкості згідно норм ПНАЕ Г-5-006-87 [17], діючих в атомній енергетиці СНД.

При проектуванні об'єктів атомної енергетики та інших особливо відповідальних об'єктів документи [15, 16, 18] рекомендують (разом з розрахунками по спектральній теорії сейсмостійкості) проводити динамічний розрахунок конструкцій з використанням інструментальних або синтезованих часових функцій (розрахункових акселерограм), які описують прискорення основ споруд при найнебезпечніших для них землетрусах. Відповідно до загальних принципів забезпечення сейсмостійкості, при проектуванні і будівництві атомних станцій в рекомендаціях Міжнародного Агентства з Атомної Енергії (МАГАТЕ)

приймається, що максимальне пікове прискорення землетрусу на майданчику дорівнює  $0,1g$  з імовірністю виникнення  $P=10^{-4}$ , що за нормами України з 50% забезпеченістю відповідає 7 бальним сейсмічним впливам.

Згідно рекомендацій МАГАТЕ [19, 20] при проектуванні АЕС враховуються два рівні сейсмічної інтенсивності:

Рівень S1 відповідає максимальним коливанням ґрунту, які можна очікувати на майданчику один раз протягом терміну експлуатації станції. Цей рівень коливань в українських нормативах відповідає категорії проектного землетрусу (ПЗ);

Рівень S2 відповідає жорстким умовам досягнення допустимого сейсмічного ризику і відповідає в українських нормах категорії максимального розрахункового землетрусу (МРЗ). Він повинен визначатися на основі оцінки максимальних можливих землетрусів, здатних реалізуватися в небезпечних для АЕС потенційних сейсмоактивних зонах.

Рекомендації МАГАТЕ пропонують також визначати:

спектри реакції одиничних осциляторів з різними коефіцієнтами загасання в різних частотних діапазонах;

максимальні прискорення і тривалість коливань в основній фазі землетрусів.

При розробці Концептуального проекту НБК застосовувався лише спектральний розрахунок арки НБК на сейсмічні впливи. Величина пікових прискорень приймалася рівною  $0,08 g$ , що за шкалою MSK-64 відповідає інтенсивності землетрусу 6 балів з 84,1% забезпеченням. При цьому, динамічні розрахунки НБК із застосуванням розрахункових акселерограм не проводилися. Держкомітет з ядерного регулювання України та Укрінвестекспертиза справедливо вказали, що до початку детального проектування слід уточнити розрахункові акселерограми землетрусів для проммайданчика ЧАЕС, особливу увагу звернувши на низькочастотну область їх спектрів, яка може збігатися з частотами власних коливань НБК.

Необхідність уточнення спектрального складу акселерограм для майданчика ЧАЕС в низькочастотній області обумовлена тим, що при проведенні сейсмологічних досліджень ІГФ НАН України та італійською фірмою ISMES у 1997 р. спектр сейсмічних прискорень був надійно визначений лише в частотному діапазоні вище 2 Гц (періоди менше 0,5 с). Такі періоди коливань відповідали власним періодам споруд і конструкцій ЧАЕС на той час. При побудові розрахункових спектрів реакції у 1997 р. використовувалися записи землетрусів із зони Вранча (Карпатський регіон, Румунія) і записи місцевих землетрусів з Тетерівської та Північно-Прип'ятської тектонічних зон (див. рисунки 3 і 4), зареєстровані вузькосмуговими сейсмостанціями АСС-6/12. У зв'язку з цим,

розрахунковий спектр реакції для НБК потребував суттєвого уточнення в низькочастотній області.

### **Результати досліджень сейсмічності майданчика ЧАЕС**

На основі даних сейсмологічних досліджень, виконаних Інститутом геофізики НАН України протягом 2004-2005 років для майданчика ЧАЕС були одержані:

записи 12 сейсмічних подій із зони Вранча з магнітудою  $M = 2,6 \div 6,0$  та записи 67 потужних віддалених землетрусів з  $M = 5.0 \div 9.0$ , зареєстровані безпосередньо на майданчику ЧАЕС в період з 8.09.2004 р. по 14.03.2005 р.;

записи 7 землетрусів із зони Вранча з магнітудою 3,5 і більше, синхронно зареєстровані на майданчику ЧАЕС і на розташованій на відстані 70 км від нього сейсмічній станції «Київ», яка входить до міжнародної сейсмічної мережі IRIS;

на основі синхронних записів землетрусів була розрахована передаточна функція, яка описує відмінність впливів середовища на шляху сейсмічних хвиль від зони Вранча до майданчика ЧАЕС і станції «Київ», за допомогою якої було здійснено перерахунок на майданчик ЧАЕС 16 записів сильних землетрусів зони Вранча на станції «Київ», зареєстрованих у період з 1999 по 2004 рр., коли на ЧАЕС сейсмічної станції не було;

усю сукупність зареєстрованих і перерахованих на проммайданчик станції записів землетрусів зони Вранча було використано для отримання обвідної спектрів реакції одиничних осциляторів з власними загасаннями (5, 10 і 15% від критичного) для трьох компонент коливань на майданчику ЧАЕС при МРЗ із зони Вранча.

На рис. 5 наведена велосиграма землетрусу 27.09.2004 р. із сейсмоактивної зони Вранча, найсильнішого за період з 1991 по 2005 роки, зареєстрована на станції «Київ». Параметри землетрусу: час у вогнищі – 20:34:32.9; широта – 45.97°N; довгота – 26.75°E; глибина гіпоцентру – 76 км; магнітуда  $M_w = 6.0$ .

За допомогою аналізу записів катастрофічного землетрусу 26 грудня 2004 року в районі острова Суматра ( $M_w=9.0$ ), зареєстрованих широкосмуговою апаратурою, встановленою безпосередньо на майданчику ЧАЕС і на сейсмічній станції «Київ», вдалося вирішити питання про потенційну можливість значного збільшення сейсмічних коливань в низькочастотній області за рахунок впливу ґрунтових умов в районі майданчика ЧАЕС. Зазначимо, що обидві станції були обладнані ідентичною сейсмологічною апаратурою фірми GURALP.

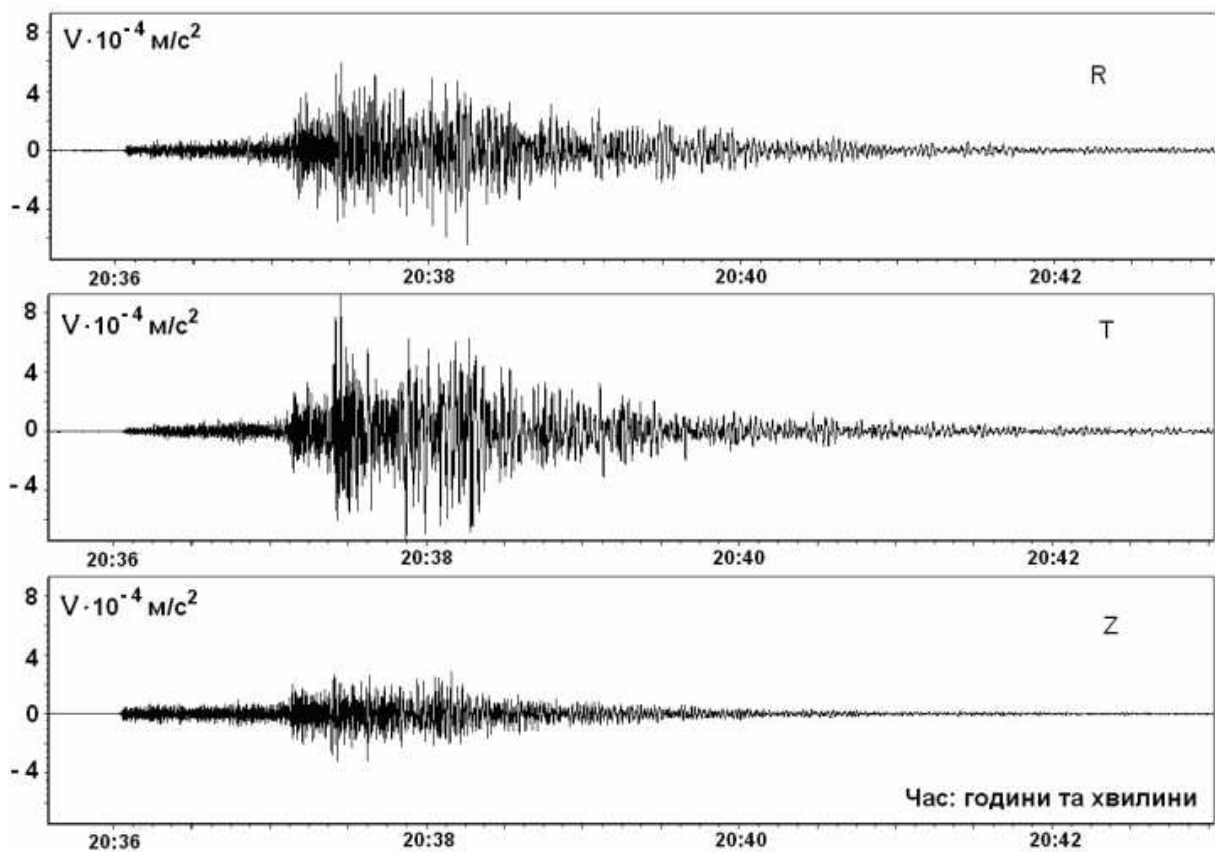


Рис. 5. Велосиграмма землетрусу 27.10.2004 р. із зони Вранча на майданчику ЧАЕС.

Сейсмічна станція «ЧАЕС» розташована на потужній товщі осадових порід із змінними по латералі швидкісними властивостями і густиною. Сейсмічна станція «Київ» розташована на виході скельних порід. Суттєво відрізняється також рівень шуму в місці установки станцій. На майданчику ЧАЕС, внаслідок великого техногенного навантаження, рівень завад є високим. На станції «Київ» мікросейсмічний шум – мінімальний.

Станція «Київ» розташована порівняно недалеко від «ЧАЕС». Від вогнища землетрусу 26.12.2004 року в районі острова Суматра промені сейсмічних хвиль до цих станцій поширювалися у вузькій променевій трубі. Отже впливом середовища на всьому шляху хвиль, окрім середовища поблизу вільної поверхні ґрунту, можна знехтувати. Відмінність в амплітудно-частотному складі сейсмічних коливань ґрунту, спостережених при землетрусі з району Суматри, можна віднести за рахунок впливу складної структури осадового чохла під Чорнобильською АЕС.

На рис. 6 показані обвідні амплітудних спектрів Фур'є прискорення коливань ґрунту, що спостерігаються на компоненті «схід-захід» на майданчику ЧАЕС і на станції «Київ». Видно, що осадовий комплекс під ЧАЕС при землетрусах може суттєво підсилювати амплітуди прискорень

сейсмічних коливань в діапазонах частот: 0,35 – 0,45 і 0,9 – 1,2 Герц. Аналогічне підсилення спостерігається і на компоненті «північ-південь». При цьому, суттєвого збільшення коливань на вертикальній складовій в діапазоні коливань 0,2 – 1 Гц на майданчику ЧАЕС не спостерігається. Отже, основне підсилення коливань формується за рахунок поперечних хвиль і хвиль Лява.

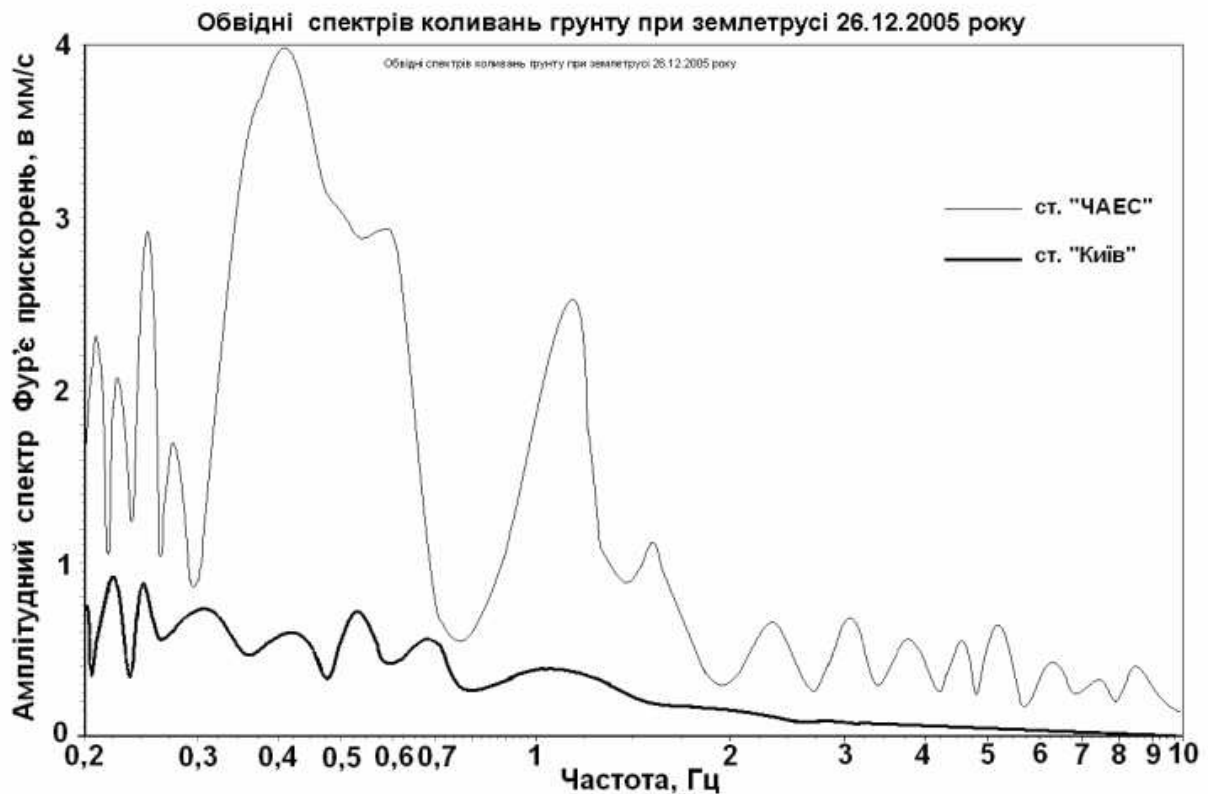


Рис. 6. Порівняння обвідних амплітудних спектрів Фур'є прискорень коливань ґрунту, що спостерігаються на майданчику ЧАЕС (тонка лінія) і на станції «Київ» (товста лінія) при катастрофічному землетрусі 26.12.2004 р. в районі острова Суматра з  $M_w=9.0$ .

В результаті додаткових досліджень, виконаних на основі аналізу світових даних про сейсмічні коливання, які спостерігаються в епіцентральному зоні, американським Консорціумом «БЕВ» було встановлено, що на майданчику ЧАЕС спектр реакції для МРЗ повинен мати рівень 0,13 g для високих частот; 0,18 ÷ 0,24 g – для діапазону частот 5 – 20 Гц; 0,1 g – для частоти 1 Гц і 0,03 g – для частоти 0,25 Гц.

На основі даних ІГФ НАН України, італійського інституту TACIS і Консорціуму «БЕВ» були побудовані «рекомендовані» для майданчика ЧАЕС спектри реакції. Їх графіки представлені на рис. 7.

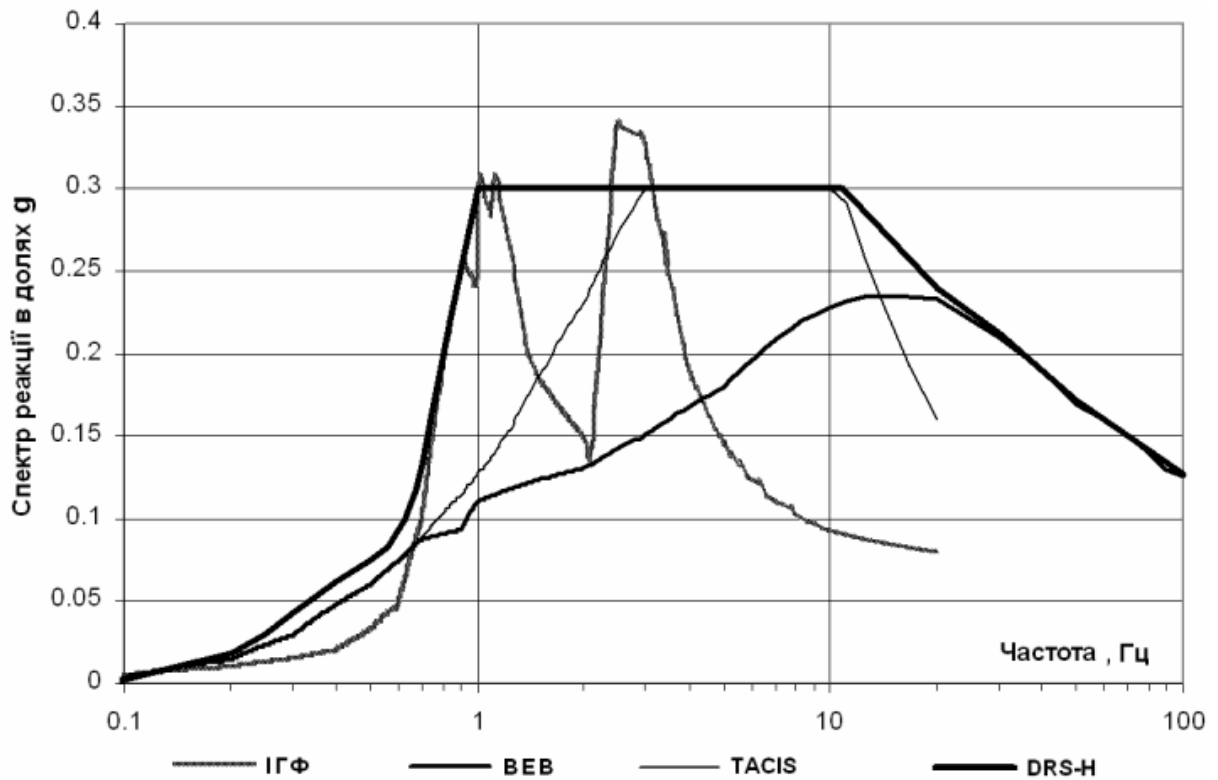


Рис. 7. Спектри реакції за різними джерелами

На рис. 8 показані побудовані на основі спектрів реакції графіки коефіцієнтів динамічності  $\beta(T)$ , де  $T$  – період власних коливань конструкцій. Там же, для порівняння, наведені аналогічні графіки, рекомендовані СНиП II-7-81\* [15], державними нормами США -UBC 97 [21] і розроблені в 1997 році інститутом TACIS.

Графік ПЗ відповідає графіку коефіцієнтів динамічності  $\beta(T)$  рекомендованому новими Державними будівельними нормами (ДБН) «Будівництво в сейсмічних районах», які стануть чинними на території України з 1.02.2007 р. [22].

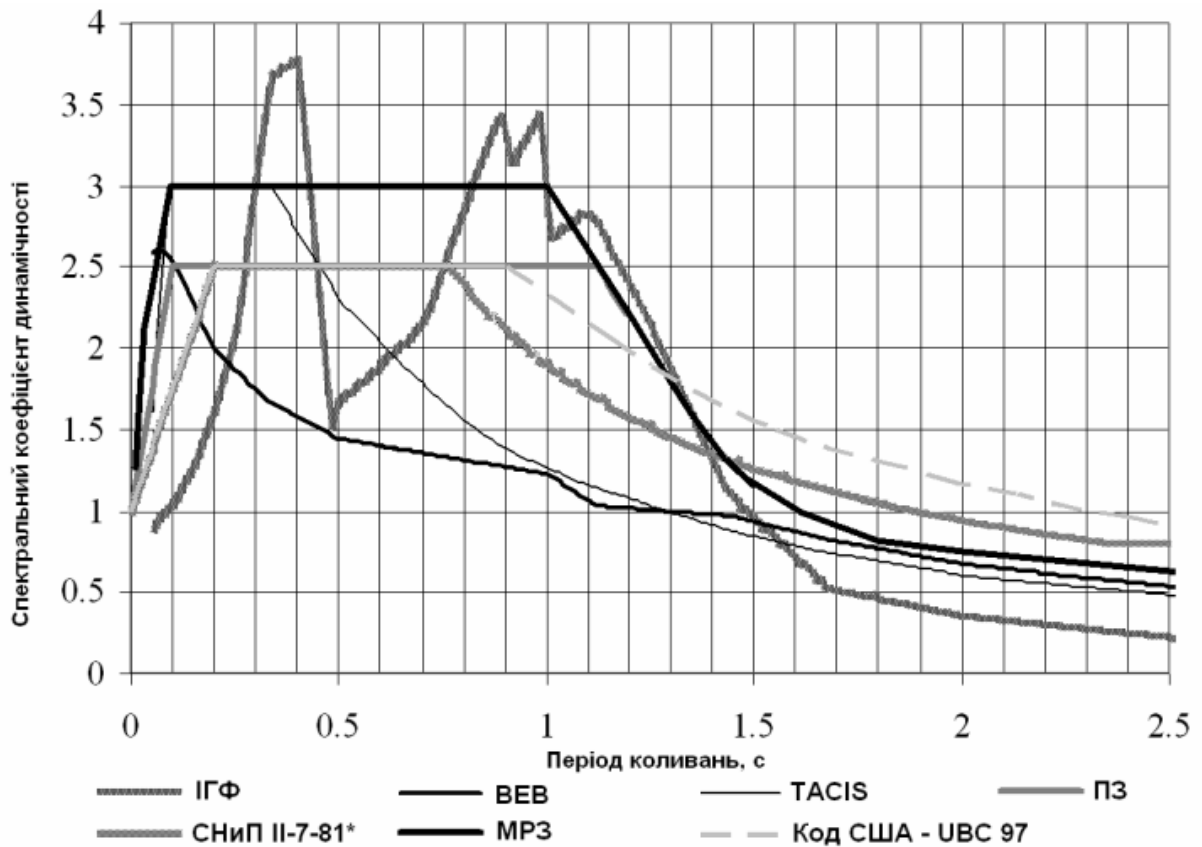


Рис. 8 . Графіки коефіцієнтів динамічності

### Розрахункові акселерограми для промайданчика ЧАЕС

Розрахункові акселерограми, які моделюють землетруси із зони Вранча і землетруси з місцевих потенційно сейсмоактивних зон на майданчику ЧАЕС, синтезувалися за допомогою регуляризованого алгоритму зворотного перетворення Фур'є [23].

В результаті було згенеровано декілька реалізацій трикомпонентних акселерограм для моделювання МРЗ: перша акселерограма моделює гіпотетичний землетрус в діапазоні частот  $0,1 \div 20$  Гц; друга – відповідає МРЗ із зони Вранча в діапазоні частот  $0,1 \div 4$  Гц; третя – місцевим (локальним) землетрусам в діапазоні частот  $1 \div 90$  Гц

На рис. 9 показана розрахункова акселерограма, для якої спектри реакції для горизонтальних компонент, як видно з рис. 10, відповідають обвідній рекомендованого спектру реакції RS-H в діапазоні частот від 0,1 до 20 Гц. Спектр реакції для вертикальної компоненти складає приблизно 2/3 від огинаючої рекомендованого спектру реакції RS-H у всьому діапазоні частот.



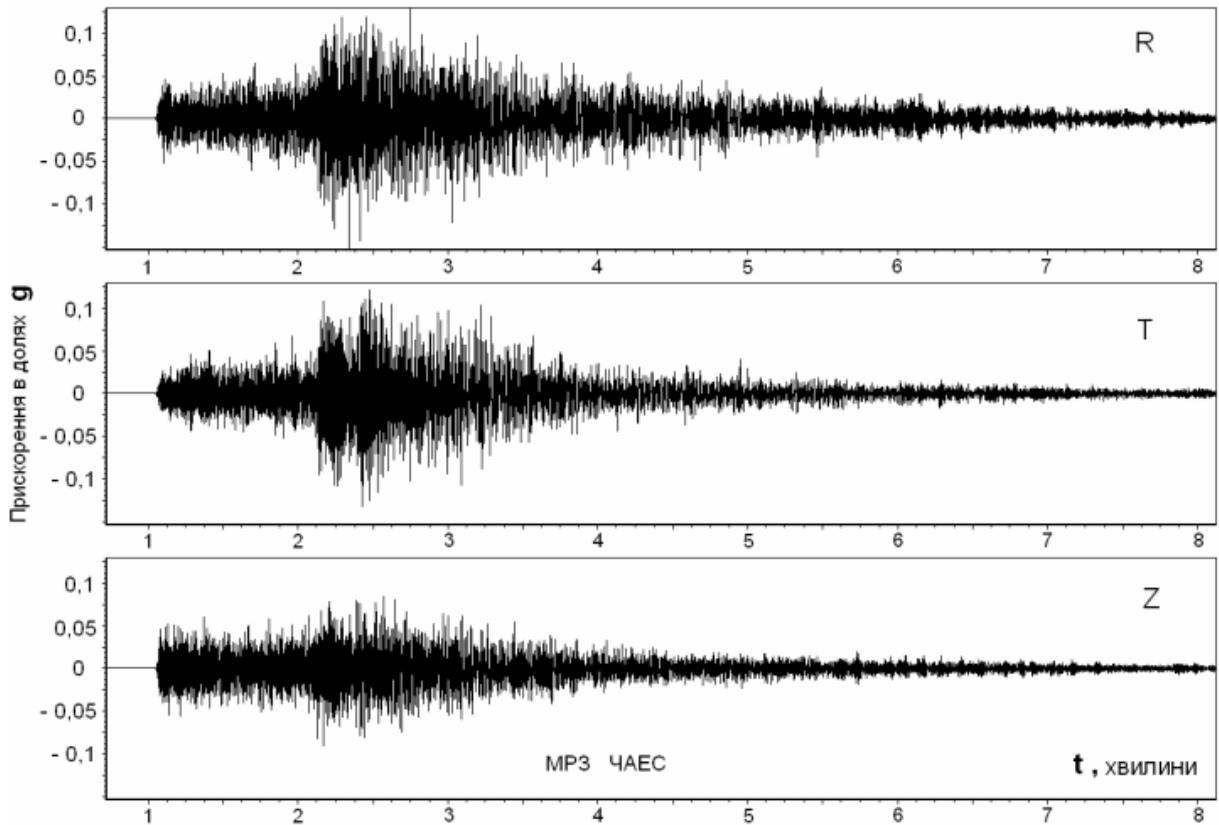


Рис. 9. Трикомпонентна розрахункова акселерограма для моделювання узагальненого гіпотетичного МРЗ, спектри реакції на який відповідають обвідній «рекомендованого» спектру реакції RS-H на рис. 10 в діапазоні частот від 0,1 до 20 Гц.

Спектр реакції для вертикальної компоненти складає приблизно 2/3 від обвідної рекомендованого спектру реакції RS-H у всьому діапазоні частот. По вертикальній осі дається прискорення в долях  $g$  ( $g=9,8 \text{ m/s}^2$ ), по горизонтальній – час в хвилинах.

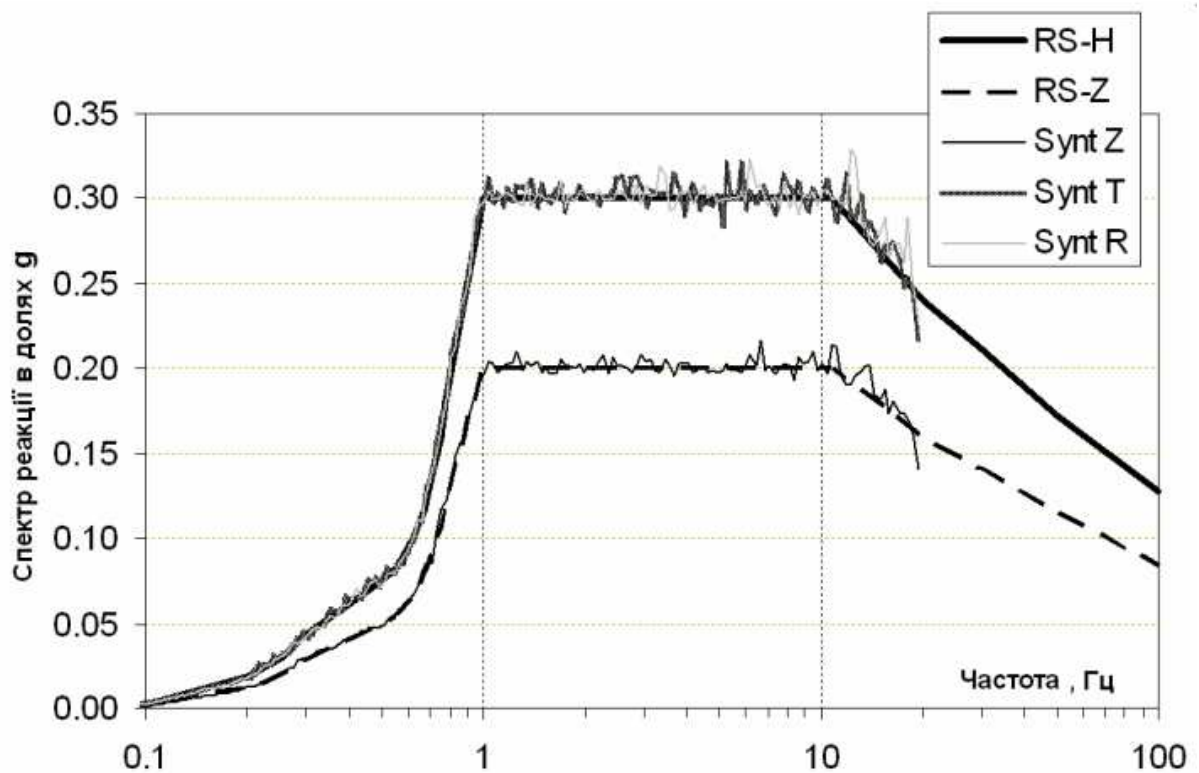


Рис. 10. Порівняння рекомендованого спектру реакції для горизонтальних компонент RS-H (товста лінія) і для вертикальної компоненти RS-Z (штрихова лінія) з спектрами реакції, побудованими по: R (Synt R), T (Synt T), і Z (Synt Z) – складових синтезованих розрахункових акселерограм, представлених на рис. 9.

Власні загасання осциляторів – 5% від критичного. Акселерограми моделюють гіпотетичний узагальнений МРЗ з 84,1% імовірністю не перевищення.

Напрями складових вектора коливань показані на рис. 11.

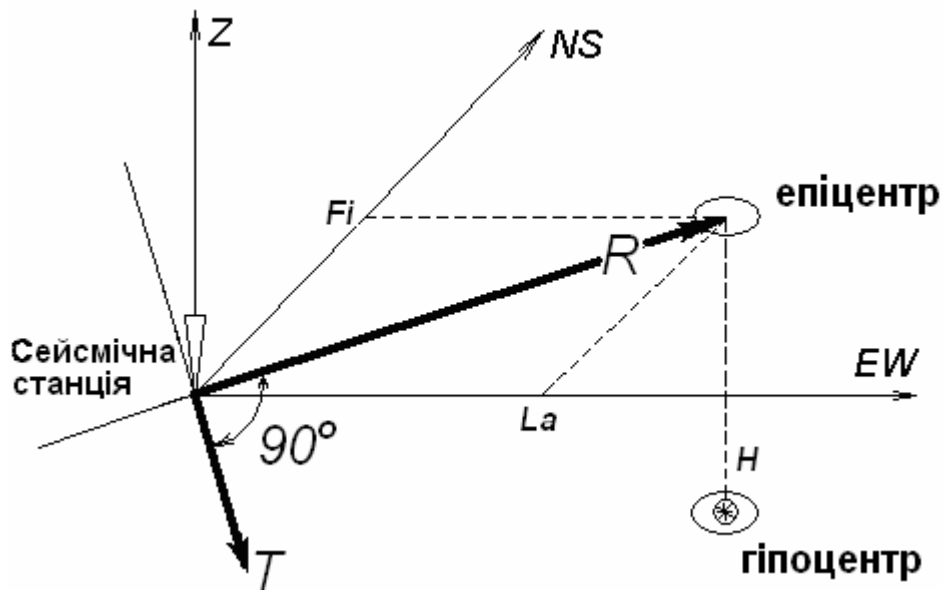


Рис. 11. Схема напрямів, яким відповідають компоненти запису повного вектора сейсмічних коливань на сейсмічній станції, розташованій на майданчику ЧАЕС: Z – вертикальна, NS і EW – горизонтальні «північ-південь» і «схід-захід», R- радіальна (направлена на вогнище землетрусу) і T – тангенціальна горизонтальна (нормальна до радіальної).

На рис. 12 приведено графік трикомпонентної розрахункової акселерограми, моделюючої МРЗ із зони Вранча. В діапазоні частот від 0,1 до 4 Гц спектри реакції для горизонтальних компонент синтезованої акселерограми, як видно з рис. 13, відповідають обвідній рекомендованого спектру реакції RS-H. Спектр реакції для вертикальної компоненти складає приблизно 2/3 від спектру реакції для горизонтальних компонент у всьому діапазоні частот.

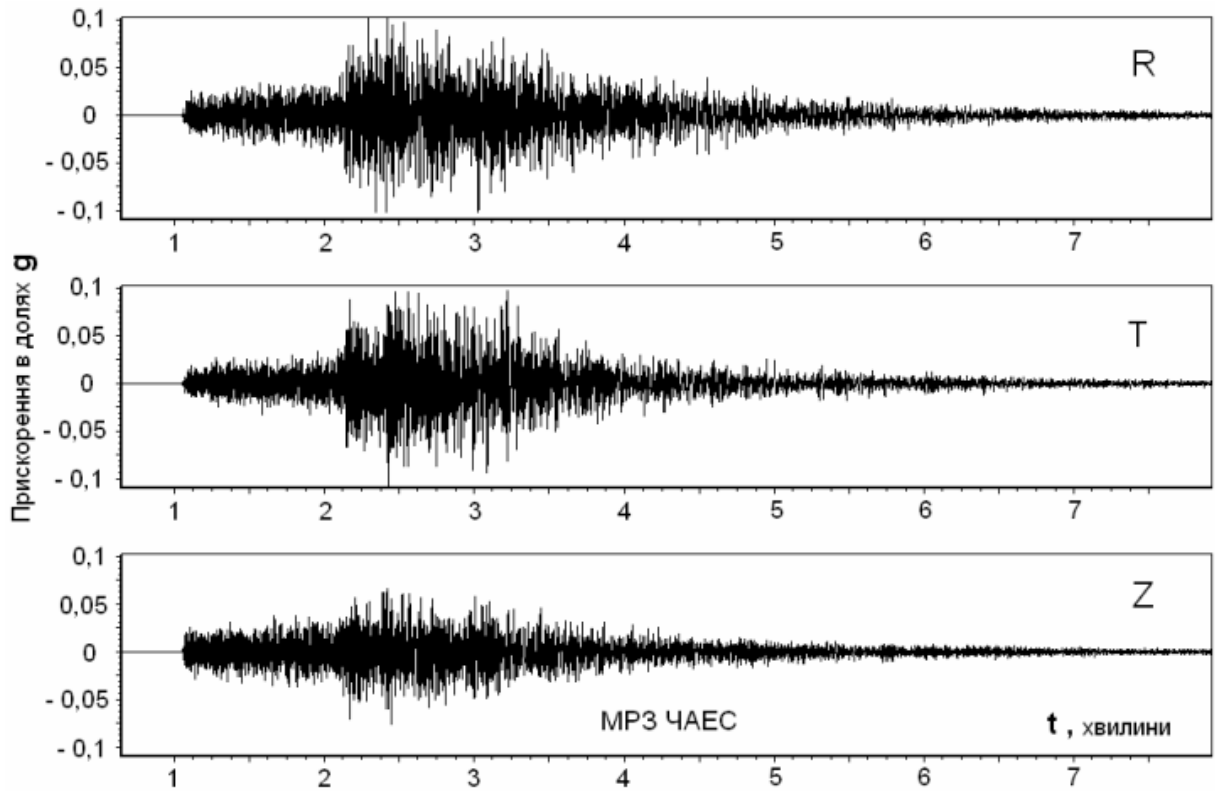


Рис. 12. Трикомпонентна розрахункова акселерограма моделююча з імовірністю не перевищення 84,1% МРЗ із зони Вранча.

Спектри реакції акселерограми для горизонтальних компонент, як видно з рис. 13, відповідають обвідній рекомендованого спектру реакції RS-H в діапазоні частот від 0,1 до 4 Гц. Спектр реакції для вертикальної компоненти складає приблизно  $2/3$  від спектру реакції для горизонтальних компонент акселерограми у всьому діапазоні частот. По вертикальній осі відкладене прискорення в долях  $g$  ( $g=9,8 \text{ m/s}^2$ ), по горизонтальній – час у хвилинах.

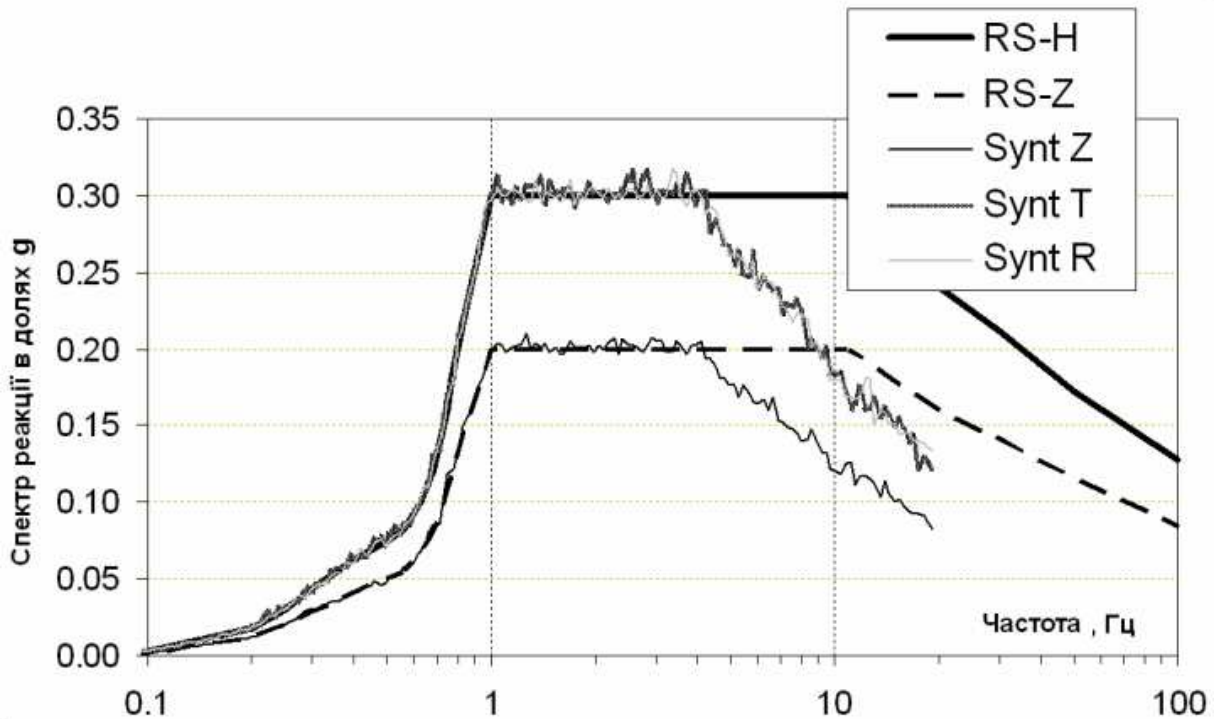


Рис. 13. Порівняння рекомендованого спектру реакції для горизонтальних компонент RS-H (товста лінія) і для вертикальної компоненти RS-Z (штрихова лінія) із спектрами реакції, побудованими по R (Synt R), T (Synt T), і Z (Synt Z) – складових синтезованих розрахункових акселерограм, представлених на рис. 12.

Власні загасання осциляторів – 5% від критичного. Акселерограми моделюють МРЗ із зони Вранча з 84,1% імовірністю не перевищення.

На рис. 13 на фоні рекомендованих спектрів реакції для горизонтальних компонент RS-H (товста лінія) і для вертикальної компоненти RS-Z (штрихова лінія) приведені спектри реакції побудовані по: R (Synt R), T (Synt T), и Z (Synt Z) – складових синтезованих розрахункових акселерограм, які моделюють МРЗ із зони Вранча і представлені на рис. 12. Спектри реакції розрахункових акселерограм, представлені на рис. 13, схожі на спектри реакції розраховані з акселерограм землетрусів зони Вранча зареєстрованих на майданчику ЧАЕС. Зменшення спектрів реакції в діапазоні високих частот визначається загасанням високочастотних компонент в середовищі при розповсюдженні сейсмічних хвиль на відстань понад 600 км від зони Вранча до майданчика ЧАЕС.

Для моделювання сейсмічних впливів при МРЗ з близьких (локальних) сейсмоактивних зон, побудовані розрахункові акселерограми представлені на рис. 14. Їх спектри реакції для горизонтальних компонент повністю співпадають з рекомендованим спектром реакції RS-H в

діапазоні частот від 4 до 90 Гц. Це добре видно на рис. 15. Для малих частот спектри реакції, розраховані з акселерограм моделюючих локальні землетруси плавно зменшуються, що відповідає реально спостережуваним спектрам реакції від невеликих локальних землетрусів здатних викликати шестибальні струшування на майданчику ЧАЕС.

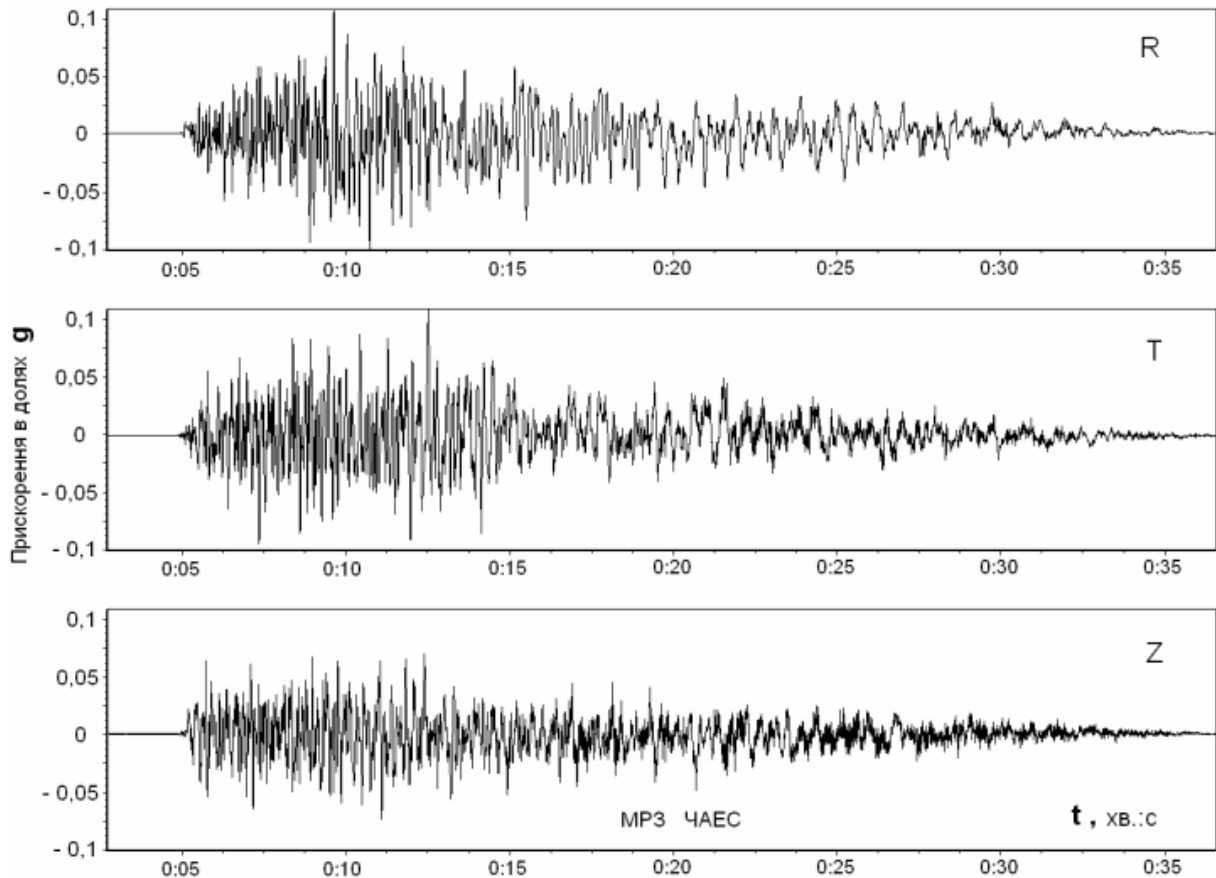


Рис. 14. Трикомпонентна розрахункова акселерограма, яка моделює з імовірністю не перевищення 84,1% МРЗ з локальних потенційно сейсмогенних зон.

Спектри реакції акселерограми для горизонтальних компонент, як видно з рис. 15, відповідають обвідній рекомендованого спектру реакції RS-N в діапазоні частот від 4 до 90 Гц. Спектр реакції для вертикальної компоненти складає приблизно 2/3 від спектру реакції для горизонтальних компонент акселерограм у всьому діапазоні частот. По вертикальній осі дано прискорення в долях  $g$  ( $g=9,8 \text{ m/s}^2$ ), по горизонтальній – час в хвиликах і секундах.

Для побудови розрахункових акселерограм, які моделюють ПЗ із зони Вранча і місцевих вогнищевих зон на майданчику ЧАЕС, необхідно вдвічі зменшити амплітуди акселерограм, моделюючих МРЗ, графіки яких були представлені на рис. 9, 12 і 14.

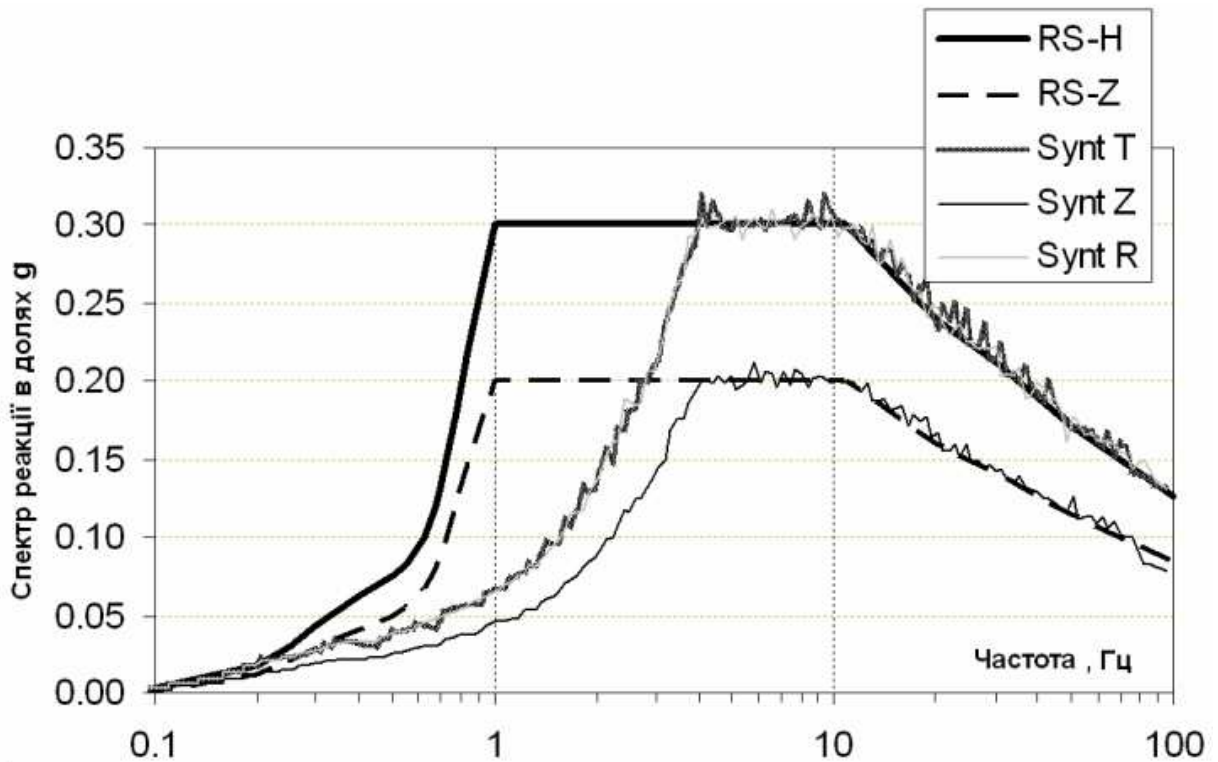


Рис. 15. Порівняння рекомендованого спектру реакції для горизонтальних компонент RS-H (товста лінія) і для вертикальної компоненти RS-Z (штрихова лінія) із спектрами реакції, побудованими по R (Synt R), T (Synt T), і Z (Synt Z) – складових синтезованих розрахункових акселерограм моделюючих МРЗ з місцевих вогнищевих зон і представлених на рис. 14. Власні загасання осциляторів – 5% від критичного. Акселерограми моделюють МРЗ з 84,1% імовірністю не перевищення.

Спектри реакції акселерограм, моделюючих землетрус із зони Вранча, відповідають обвідній рекомендованого спектру в діапазоні частот від 0,1 до 20 Гц (10-0,05 с). Вертикальна компонента спектру прийнята рівною  $2/3$  від величини горизонтальної складової коливань, що відповідає межах (0,5÷0,7), прийнятим в міжнародній практиці [24, 25].

Розрахункові акселерограми в цифровій формі на магнітних носіях передані проектувальникам для застосування в практичних розрахунках на сейсмічні впливи НБК та інших споруд, розташованих на майданчику ЧАЕС.

## Література:

1. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ. – Атомная энергия, том 61, вып. 5, 1986. – С.301-320.
2. Старостенко В.И., Кендзера А.В., Омельченко В.Д. Опыт сейсмологических исследований на Чернобыльской АЭС //Материалы IV Международной научно-практической конференции «Объект «Укрытие», 15 лет: прошедшее, современное, будущее» (27-30 ноября 2001 г.), Выпуск 10 в 2 частях. Часть 1. – Чернобыль: МНТЦ «Укрытие», Объект «Укрытие» ДСП ЧАЭС, 2002. – С. 356-382.
3. Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы 1/ Отв.ред. В.Б.Соллогуб. – Киев, Наукова думка, 1987. – 168 с.
4. Оценка сейсмической активности района Чернобыльской атомной электростанции. /Отв. ред. академик АН Украины В.И. Старостенко. Чернобыль: ПО «Припять», ИГФ АН УССР, 1990. – 78 с.
5. Веклич М.Ф. Четвертинні відклади правобережжя середнього Дніпра. – К.: АН УРСР, 1959. – 48 с.
6. Johnston, A. C., Coppersmith, K. J., Kanter, L.R. and Cornell, C. A. The earthquakes of stable continental regions. – Electric Power Research Institute (EPRI), vol. 1-5, edited by J.F. Schneider, Palo Alto, California, 1994. – Vol 1.- 368 p., Vol 2.- 522 p., Vol 3.- 802 p., Vol 4.- 872 p., Vol 5.- 44 p.
7. Triep, E. G. and L. R. Sykes. Catalog of shallow intracontinental earthquakes, 1996. – <http://www.ldeo.columbia.edu/seismology/triep/intra.expl.html>
8. Schulte, S. M. and W. D. Mooney. An updated earthquake catalog for Stable Continental Regions, 2005 – <http://earthquake.usgs.gov/scitech/Catalog.txt>
9. Рейснер Г.И. Очередной урок сейсмическому районированию. // Физика Земли. – 1993. – № 3. – С. 109-112.
10. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. /Отв.ред. Н.В.Кондорская, Н.В.Шебалин – М.: Наука, 1977. – 535 с.
11. Кутас В.В., Омельченко В.Д., Остроухова О.А. Эпицентры землетрясений на юго-западе Украины. – Геофизический журнал, №6, Т.27, 2005. – С.962-969.
12. Кендзера О.В., Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Пронишин Р.С., Гурова І.Ю. Землетрус 3 січня 2002 року у теребовлянському районі Тернопільської області. – Вісник “Геологія”. Вип. 23-24. – Київ: КНУ, 2002. – С. 106-110.
13. Омельченко В.Д., Харитонов О.М. Сейсмический мониторинг района размещения ЧАЭС. – Проблемы Чернобыльской зоны відчуження. Вип. 3. – Київ: Наукова думка, 1996. – С. 23-29.
14. Омельченко В. Д., Сафронов О.Н., Кожухова З.В. Особенности сеймотектоники района расположения ЧАЭС. – Доклады НАН Украины, № 6, 1994. – С.109-111.



15. СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования/ Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1991. – 50 с.
16. SIP-P-TM-21-330-DSN-089-01. Спектры ответов и спектральные коэффициенты динамичности для промплощадки ЧАЭС, ред.2 от 19.04.05. – 10 с.
17. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 22 с.
18. ПНАЭ-5.6. Правила и нормы в атомной энергетике. Нормы строительного проектирования АС с реакторами различного типа. Минатомэнерго СССР, – М.: “Атомэнергопроект”, 1986. – 21 с.
19. Руководства МАГАТЭ по безопасности. Серия № 50-SG-S1. Учет землетрясений и связанных с ними явлений при выборе площадок для атомных станций. Руководство по безопасности. – Вена: МАГАТЭ, 1981. – 71 с.
20. Руководства МАГАТЭ по безопасности. Серия № 50-SG-S2. Анализ и проверка сейсмостойкости атомных станций. Руководство по безопасности – Вена: МАГАТЭ, 1981. – 61 с.
21. Uniform Building Code. Structural Engineering Design Provisions – 1997.
22. Будівництво у сейсмічних районах України. Державні будівельні норми. / Держбуд України. Київ, 2005. – 96 с.
23. Кендзера А.В. Способ получения расчетных акселерограмм путем пересчета из сейсмических записей. – Геофизический журнал, т.9, № 5, Киев: Наукова думка, 1987. – С.75-79.
24. Hartzell S.H. Earthquake aftershocks as Green's functions. Geophys. Res. Letters, 5, 1978.- P.1-4.
25. Izutani Y., Katagiri F. Empirical Green's function corrected for source effect. – Earthq. Eng. Struct. Dyn., 21, 1992.- P.341-349.

## Сейсмологічні дослідження для Чорнобильської АЕС

*Старостенко В.І., Кендзера О.В., Омельченко В.Д., Вербицький С.Т.,  
Вербицький Ю.Т., Амашукелі Т.А., Лісовий Ю.В., Рожок Н.І.*

**Резюме:** У зв'язку з проектуванням нового безпечного “Конфайнмента” над об'єктом “Укриття” виникла необхідність побудови розрахункових акселерограмм і спектрів реакції, моделюючих максимальний розрахунковий землетрус (сейсмічний рівень SL-2) на майданчику Чорнобильської АЕС. Методика розв'язання цієї задачі передбачала реєстрацію сейсмічних подій безпосередньо на майданчику АЕС. З цією метою поблизу об'єкта “Укриття” була встановлена сейсмічна станція обладнана ширококутовими сейсмометрами Guralp. Сейсмічні стереження безперервно проводилися з 8 вересня 2004 р. до 24 березня 2005 р. Було зареєстровано декілька проміжних за величиною підкорових землетрусів із зони Вранча і десятки сильних віддалених сейсмічних подій. Ці записи, разом з даними інших геолого-геофізичних досліджень, використовувалися для побудови розрахункових акселерограмм і спектрів реакції одиничних осциляторів, моделюючих ефект розрахункових землетрусів із зони Вранча і місцевих вогнищевих зон на майданчику ЧАЕС.

## Сейсмологические исследования для Чернобыльской АЭС

*Старостенко В.И., Кендзера А.В., Омельченко В.Д., Вербицкий С.Т.,  
Вербицкий Ю.Т., Амашукели Т.А., Лесовой Ю.В., Рожок Н.И.*

**Резюме:** В связи с проектированием нового безопасного “Конфайнмента” над объектом “Укрытие” возникла необходимость построения расчетных акселерограмм и спектров реакции, моделирующих максимальное расчетное землетрясение (сейсмический уровень SL-2) на площадке Чернобыльской АЭС. Методика решения этой задачи предусматривала регистрацию сейсмических событий непосредственно на площадке АЭС. С этой целью вблизи объекта “Укрытие” была установлена сейсмическая станция оборудованная широкополосными сейсмометрами Guralp. Сейсмические наблюдения непрерывно проводились с 8 сентября 2004 г. до 24 марта 2005 г. Было зарегистрировано несколько промежуточных по величине подкоровых землетрясений из зоны Вранча и множество удаленных землетрясений. Эти записи, совместно с данными

других геолого-геофизических исследований, использовались для построения расчетных акселерограмм и спектров реакции единичных осцилляторов, моделирующих эффект расчетных землетрясений из зоны Вранча и местных очаговых зон на площадке ЧАЭС.

### **Seismological Investigation for Chernobyl NPP**

*Starostenko V.I., Kendzera O.V., Omelchenko V.D., Verbitskyi S.T.,  
Verbitskyi Yu.T., Amashukeli T.A., Lisovyi Yu.V., Rozhok N.I.*



25 квітня 2006 року.

Олександр Кендзера виступає на науковій конференції "Національна академія наук України — Чорнобилю", присвяченій 20-річчю Чорнобильської катастрофи.