



КЕНДЗЕРА

Олександр Володимирович – кандидат фізико-математичних наук, заступник директора Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, kenzera@igph.kiev.ua

СЕЙСМІЧНА НЕБЕЗПЕКА І ЗАХИСТ ВІД ЗЕМЛЕТРУСІВ

Практичне впровадження розробок Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України

На території України існує небезпека місцевих землетрусів і сильних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія). Розглянуто вагомі фундаментальні та прикладні результати, отримані в Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, у галузі сейсмологічних досліджень з вивчення будови і динаміки земних надр, розвитку методик визначення кількісних характеристик реальної сейсмічної небезпеки, необхідних для захисту населення та економіки країни від землетрусів. Результати цих науково-дослідних робіт використовують при формуванні державних нормативних документів у сфері сейсмології і сейсмостійкого будівництва, при визначенні сейсмостійкості житла, АЕС, ГЕС та інших важливих об'єктів.

Ключові слова: землетрус, сейсмічна небезпека, загальне і детальне сейсмічне районування, сейсмічне мікрорайонування, розрахункові акселерограми, сейсмостійкість.

Вступ

Сейсмічна небезпека території України зумовлена тісним сусідством її західних, південно-західних і південних областей з потужним сейсмоактивним поясом планети, який утворився в результаті колізії Африканської, Арабської і Євразійської материкових плит. Більшість виділеної пружної енергії реалізується у вигляді землетрусів різної інтенсивності безпосередньо в цьому поясі, але значна частина енергії передається в тектонічні структури відносно спокійної Східноєвропейської платформи, де можуть виникати небезпечні місцеві землетруси. Як свідчить історичний досвід, землетруси відбуваються в межах усіх древніх тектонічних платформ, хоча й набагато рідше, ніж у сейсмоактивних поясах [1]. Причому землетруси на порівняно стабільних тектонічних платформах, як правило, призводять до значних економічних втрат через невідповідність будівель і споруд до їх впливів.

До 70-х років ХХ ст. помилково вважалося, що на більшій частині території України, розташованій на древній Східно-

європейській тектонічній платформі, значні сейсмічні події неможливі, тому більшість споруд будували без урахування заходів сейсмічного захисту. Сейсмонебезпечні райони з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6–9 балів становлять близько 20% території України (~120 тис. км²) з населенням понад 10 млн чол. Райони з прогнозованою інтенсивністю 7–9 балів становлять 12% території країни, в них розташовано майже 80 населених пунктів, у яких проживає 7 млн чол. [2]. Так, землетрус у Криму 1927 р. спричинив руйнування «Ластівчиного гнізда», побудованого на скельній основі [3] (рис. 1). По всій території України відчуються сильні підкорові землетруси зони Вранча (Румунія), останні з яких відбулися у 1940, 1977, 1986 і 1990 рр. Загалом до 40% території України може бути охоплено безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій і до 70% – спільним впливом землетрусів і підтоплень, зсувів, осідань та інших інженерно-геологічних процесів, які негативно впливають на стійкість споруд [2].

Основні результати сейсмологічних досліджень, отримані в ІГФ НАН України

В Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна (ІГФ) НАН України виконують фундаментальні і прикладні дослідження в інтересах сейсмічного захисту житла, промислових споруд, енергетичних об'єктів з метою забезпечення стабільного розвитку країни. Ці роботи ведуться у тісній співпраці з профільними підрозділами відповідних міністерств і відомств України та місцевими органами влади.

Для вирішення проблеми сейсмічного захисту в ІГФ НАН України проводять наукові дослідження за такими напрямками:

- розроблення теорії розв'язання прямих і обернених задач геофізики, вивчення глибинної будови, динаміки та енергетики земної кори окремих регіонів і локальних структур;
- вивчення сейсмічності території країни і суміжних районів, розроблення програмних засобів збору та обробки геолого-геофізичної



Рис. 1. «Ластівчине гніздо», зруйноване кримським землетрусом 1927 р.

інформації, створення банків даних, вивчення характеристик спостережуваних геофізичних явищ, параметрів зареєстрованих полів та характеристик їх джерел;

- побудова комплексних геофізичних моделей геологічного середовища;
- інтерпретація результатів геофізичних досліджень;
- створення апаратно-програмних комплексів для геофізичних спостережень;
- вирішення практичних інженерно-геологічних завдань;
- дослідження динаміки напружено-деформованого стану геологічного середовища;
- розроблення методики дослідження кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для встановлення сейсмостійкості особливо важливих будівель і споруд;
- сейсмічне мікрорайонування територій населених пунктів, майданчиків нетипових та експериментальних будинків і споруд, проєктованих у сейсмічних районах країни.

У результаті виконання фундаментальних і прикладних досліджень у галузі вивчення глибинної будови та еволюції Землі геолого-геофізичними методами, геофізичних дослі-



Рис. 2. Мережа сейсмічних станцій НАН України

дженів навколишнього середовища з метою вивчення геодинаміки та пов'язаних з нею загрозливих природних і природно-техногенних явищ, а також аналізу досягнень світової геофізичної науки подальшого розвитку і вдосконалення набули методи загального і детального сейсмічного районування, сейсмічного мікрорайонування для потреб сейсмостійкого проектування і будівництва житла, важливих і екологічно небезпечних споруд (АЕС, ГЕС, хвостосховищ небезпечних відходів, продуктопроводів тощо).

Згідно з українськими нормативними документами, здійснювати захист від сейсмічної загрози мають власники (розпорядники) будинків і споруд [3–5], проте інформацію, від чого саме слід захищатися, можна одержати лише на основі даних режимних сейсмологічних спостережень, які проводять на сейсмологічних станціях НАН України та інтегрованих у цю систему локальних сейсмологічних мере-

жах. НАН України відповідає за сейсмологічний моніторинг, орієнтований на отримання необхідних для сейсмічного захисту даних. ІГФ НАН України забезпечує цілодобову неперервну роботу мережі сейсмологічних станцій та Національного центру сейсмологічних даних. На рис. 2. наведено сучасну конфігурацію мережі сейсмічних станцій НАН України, до складу якої входять 38 режимних сейсмічних станцій, а також два регіональні (Львів і Сімферополь) і один національний (Київ) сейсмологічні центри. В ІГФ НАН України розроблено проект подальшого розвитку сейсмологічної мережі України, спрямований на одержання даних для забезпечення оптимального сейсмостійкого проектування і будівництва важливих і екологічно небезпечних об'єктів, житлових будинків та громадських споруд.

За даними оброблення сейсмологічних записів постійно поповнюється комп'ютерна база даних про землетруси і сейсмічні події, які

відбуваються на території України і в ближній до неї зоні, бази цифрових сейсмограм сейсмічних подій і мікросейсмічних коливань, випускаються щодакдні бюлетені зареєстрованих сейсмічних подій. Дані про параметри сейсмічності і сейсмічної небезпеки в Україні, результати оперативного визначення параметрів вогнищ землетрусів з $M > 6$ на планеті та з $M > 3$ на території України, а також інформація про їх макросейсмічні прояви надаються Державній службі з надзвичайних ситуацій України, Мінрегіонбуду України, Мінприроди України, обласним держадміністраціям, прокуратурі, слідчим органам МВС України та іншим зацікавленим установам. Сейсмологічні дані публікуються в щорічних «Сейсмологічних бюлетенях України», фахових журналах та міжнародних збірниках.

З використанням сейсмотомографічних методів за даними спостережень мережі сейсмічних станцій України та світових сейсмологічних центрів у ІГФ НАН України створено модель блокової Р-швидкісної будови мантії Європи і встановлено зв'язок швидкісних неоднорідностей із землетрусами сейсмоактивної зони Вранча. У мантії під Східноєвропейською платформою виділено низькошвидкісні аномалії, які простягаються від середньої до перехідної зони верхньої мантії. Показано, що аномаліям швидкості сейсмічних хвиль відповідають мантіїні гравітаційні, ізостатичні аномалії та аномалії теплового потоку. Встановлено прив'язку мантіїних плюмів до авлакогенів Східноєвропейської платформи, рудних та вугледневих родовищ.

Сейсмічність Криворізького басейну

Дослідження катастроф у районах інтенсивного видобутку корисних копалин показало, що в них відбуваються незворотні зміни напружено-деформованого стану геологічного середовища, що активізує небезпечні природно-техногенні процеси, такі як зсуви, обвали порід, підтоплення, землетруси, гірські удари тощо. Як правило, основні кошти державного і місцевих бюджетів спрямовують переважно

на ремонтно-захисні заходи локального характеру при ліквідації наслідків таких негативних явищ, а нові об'єкти продовжують проектувати, споруджувати й експлуатувати без урахування реального стану геологічного середовища та процесів, які відбуваються в ньому.

Зокрема, поблизу Кривого Рогу протягом останніх років відбулося кілька землетрусів, установлення причин і природи яких потребує подальшого дослідження. Сучасна активізація тектонічних розломів у цьому районі супроводжується розвитком підземних пустот, карстових утворень, зсувних ділянок та іншими загрозливими явищами. Найсильніший із криворізьких землетрусів ($M = 4,9$; $h = 10$ км) зафіксовано 7 травня 2008 р., останній з відчутних — 24 червня 2013 р., його інтенсивність в епіцентрі досягала 3 балів за шкалою MSK-64.

У ІГФ НАН України ініційовано проведення комплексу науково-дослідних робіт з виявлення, вивчення і картування загрозливих геологічних явищ у Криворізькому залізородному басейні. Роботи спрямовано на запобігання виникненню в майбутньому на території інтенсивного видобутку корисних копалин катастроф природно-техногенного характеру. На території платформної частини України створено і введено в режимну роботу нову сейсмологічну станцію ІГФ НАН України «Дніпропетровськ», що сприяло розвитку спостережень сучасної сейсмічності західної частини Східноєвропейської платформи в межах території центральної і східної України та суміжних з нею районів.

На основі вивчення записів місцевих сейсмічних подій у районі Кривого Рогу за 2006—2014 рр. та узагальнення геолого-геофізичних даних про будову земної кори в цьому районі, зокрема шовної зони на межі Інгільського та Середньопридніпровського мегаблоків Українського щита, було визначено основні параметри вогнищ криворізьких землетрусів і висунуто гіпотезу про їх природно-техногенне походження. Встановлено, що в разі масштабних розробок покладів корисних копалин із застосуванням потужних вибухів у шахтах (на глибинах 440—1300 м) в районі Криворізької

залізородної структури не можна виключати виникнення землетрусів з магнітудою понад 5,0 [6].

Розроблення нормативних документів

З часу прийняття Державних будівельних норм ДБН В.1.1-12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» [4] від проектних і наукових установ надійшла низка зауважень щодо деяких положень документа. З урахуванням цих пропозицій і з метою гармонізації українських будівельних норм з міжнародними стандартами визначення параметрів сейсмологічної небезпеки та сейсмічного захисту будівель і споруд на замовлення Мінрегіонбуду України співробітники ІГФ НАН України працювали над удосконаленням сейсмологічної частини документа. До нової редакції Державних будівельних норм України (ДБН В.1.1-12:2014) «Будівництво в сейсмічних районах України» [5], яка набула чинності з 01.10.2014, було внесено такі зміни:

- удосконалено підхід до використання карт загального сейсмічного районування (ЗСР) території України відповідно до класу наслідків (відповідальності) будівель і споруд, проєктованих у сейсмічних районах країни;
- уточнено вимоги до сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків;
- удосконалено методи визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для спектрального і динамічного підходів у розрахунках сейсмостійкості будинків і споруд;
- удосконалено методи визначення сейсмостійкості проєктованих і наявних об'єктів;
- встановлено вимоги до проєктування систем сейсмоізоляції будівель різного призначення.

Прийняття нової редакції ДБН покликане сприяти підвищенню якості проєктування конструкцій, забезпеченню необхідного рівня сейсмостійкості будівель і споруд, а також безпеки людей, зменшенню пошкоджень дорогого обладнання при землетрусах.

Важливою складовою ДБН В.1.1-12:2014 є набір карт ЗСР території України з розподі-

лом прогнозованої інтенсивності сейсмічних струшувань (сейсмічної бальності), яка не перевищуватиметься в найближчі 50 років з імовірністю 90, 95 і 99% (рис. 3). Карти було складено ІГФ НАН України спільно з Кримською експертною радою з оцінки сейсмічної безпеки і прогнозу землетрусів. Порівняльний аналіз старої карти СР-78 і трьох нових карт ЗСР вказує на те, що на території України в сейсмічних зонах з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6 і більше балів є значна кількість важливих і екологічно небезпечних об'єктів, побудованих до 2007 р. у несейсмостійкому варіанті. Для багатьох із них ризик руйнування в разі можливих максимальних землетрусів залишається невизначеним.

З метою гармонізації з міжнародними стандартами визначення параметрів сейсмологічної небезпеки та захисту від землетрусів об'єктів атомної енергетики і відповідно до вимог МАГАТЕ в ІГФ НАН України разом із Державним підприємством «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» за дорученням Державної інспекції ядерного регулювання України розроблено сейсмологічні розділи до проекту нормативного правового акта «Вимоги до сейсмостійкого проєктування та оцінки сейсмічної безпеки енергоблоків атомних станцій». Також згідно з Європейськими стандартами (EUROCODE 8) розроблено сейсмологічні розділи до національного стандарту ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів. Шкала сейсмічної інтенсивності», введеного в дію наказом Мінрегіонбуду України від 23 грудня 2010 р. № 539.

Методика прогнозування кількісних параметрів сейсмічної небезпеки

У ІГФ НАН України удосконалено методику прогнозування кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для потреб сейсмічного захисту, що ґрунтується на результатах аналізу сейсмологічних спостережень мережі сейсмічних станцій НАН України та локальних сейсмо-



Рис. 3. Набір карт загального сейсмічного районування території України (ДБН В.1.1-12:2014 [5]) з розподілом прогнозованої сейсмічної бальності, яка в найближчі 50 років не перевищуватиметься з імовірністю 90 (а), 95 (б) і 99% (в), та відповідна карта СР-78 з чинних до 2007 р. будівельних норм СНИП 2-7-81 (див. також с. 50)



Рис. 3. Закінчення

логічних мереж, на сучасних методах оброблення цифрових сейсмічних записів та нових апаратурно-програмних засобах контролю метрологічних параметрів реєструвальних сейсмологічних трактів.

Оцінку сейсмостійкості важливих споруд та їх окремих конструкцій здійснюють з використанням розрахункових акселерограм і спектрів реакції (на акселерограми) систем одиничних осциляторів з різними періодами власних коливань і різними значеннями заганяння [4, 5, 7].

Розрахункові акселерограми є функціями часу, що моделюють компоненти вектора прискорень у сейсмічних рухах поверхні ґрунту на будівельному (експлуатаційному) майданчику при землетрусах, які можуть реалізуватися на ньому один раз на 1000 років для проектного землетрусу і один раз на 10000 років для максимального розрахункового землетрусу. Залежно від положення зони відносно майданчика, сейсмічного режиму, величини виділеної у вогнищі енергії, механізму вогнища землетрусу, діаграми напрямленості випромінювання сейсмічної енергії, а також від спектральних особливостей впливу середовища на шляху поширення сейсмічних хвиль від вогнища до майданчика АЕС змінюються величини пікових прискорень, тривалість коливань, форма обвідної та спектральний склад розрахункових акселерограм.

Розроблена в ІГФ НАН України методика побудови розрахункових акселерограм відповідає вимогам МАГАТЕ [7] і максимально використовує інформацію про зареєстровані сейсмічні події у небезпечних для об'єкта сейсмоактивних зонах. Для генерування таких акселерограм запропоновано застосовувати напівемпіричний підхід, оснований на використанні емпіричних аналогів функції Гріна у вигляді записів слабких землетрусів (вибухів), зареєстрованих безпосередньо на майданчику, та регіональних закономірностях формування амплітудних спектрів сейсмічних коливань [7–11]. Функції Гріна описують особливості випромінювання енергії з вогнища і вплив середовища на шляху сейсмічних хвиль від зон

виникнення землетрусів до майданчика АЕС. Перевага цього методу над зарубіжними аналогами полягає в тому, що не потрібно теоретично розраховувати передаточні функції геологічного середовища з використанням його моделей, для надійного визначення параметрів яких необхідно проводити додаткові дорогі й трудомісткі дослідження.

Впровадження результатів досліджень

Результати наукових досліджень ІГФ НАН України з розроблення сучасної апаратурної бази, вивчення сейсмічності території країни, прогнозування кількісних параметрів сейсмічної небезпеки, необхідних для захисту населення та економіки від землетрусів, мають практичне застосування у подальшому розвитку національної мережі сейсмічних спостережень, розробленні заходів з підвищення рівня безпеки населення, житлового фонду, важливих та екологічно небезпечних об'єктів. Їх використовують профільні підрозділи центральних і місцевих органів влади, організації, які планують, проектують і проводять геолого-геофізичні вишукування в сейсмічних районах. Досвід проведення сейсмічних спостережень, апаратурні та програмні розробки Інституту сприяють удосконаленню сейсмологічного моніторингу в сейсмічних регіонах країни.

У процесі реалізації рекомендацій ІГФ НАН України щодо необхідності організації в районах розташування АЕС і ГЕС локальних мереж сейсмічних станцій було використано розроблені в Інституті сучасні технології прогнозування величини, спектрального складу, тривалості та інших параметрів потенційно можливих сейсмічних впливів із заданою ймовірністю їх неперевищення в заданий період. Мінпаливенерго України разом з НАЕК «Енергоатом» прийняли План заходів з оцінки сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС, затверджений постановою Колегії Державного комітету ядерного регулювання України від 19.02.2009 р. № 7. На реалізацію цього плану ІГФ НАН України розробив проекти локальних мереж для моні-

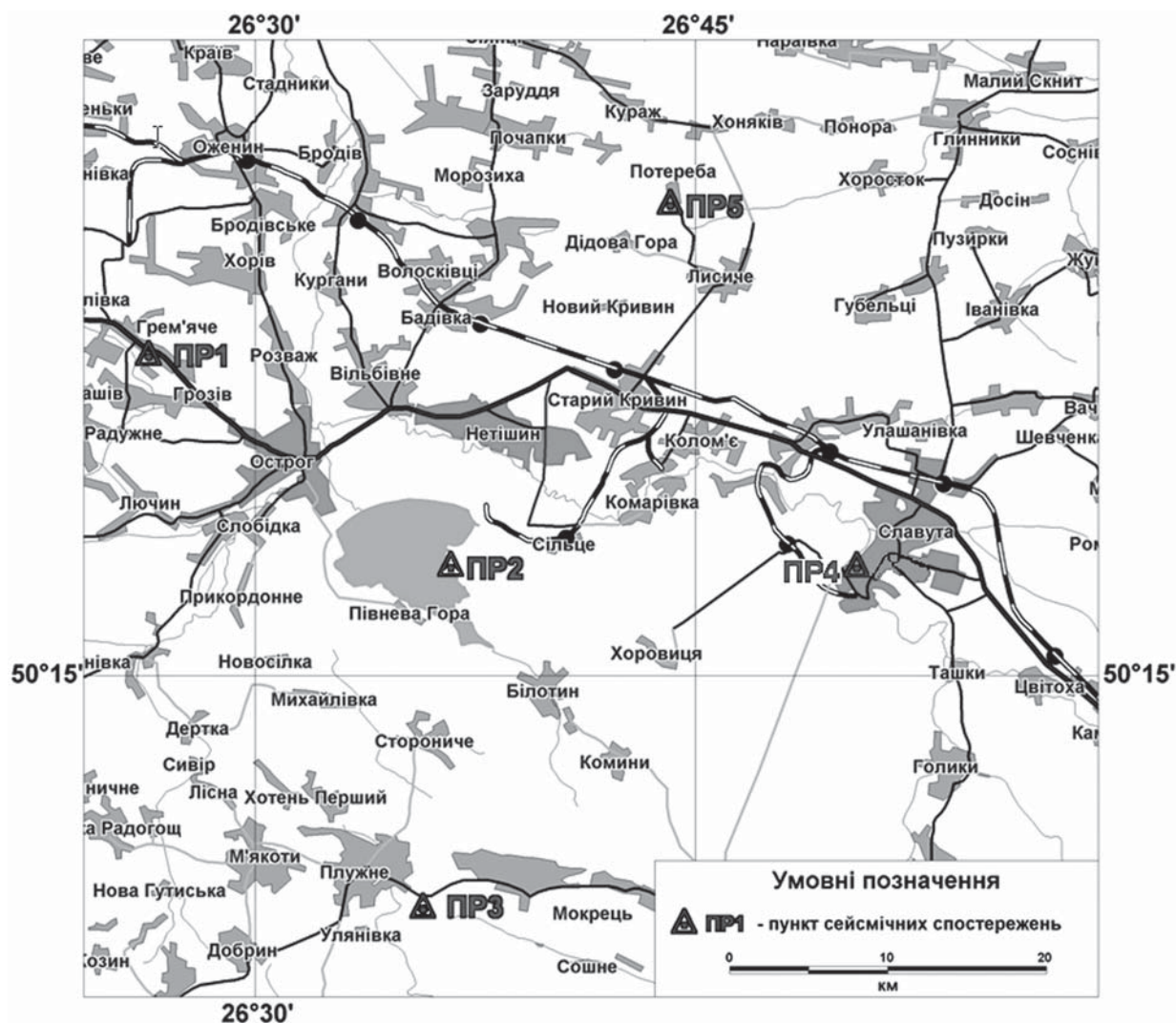


Рис. 4. Схема розташування локальної мережі сейсмічних станцій в районі розташування Хмельницької АЕС

торингу сейсмічної ситуації навколо всіх українських АЕС.

Основним завданням локальних мереж сейсмологічних спостережень навколо важливих об'єктів є отримання об'єктивної інформації про:

- наявність (або відсутність) зміни геодинамічної ситуації в районі розташування об'єкта за допомогою реєстрації слабких землетрусів, що виникають на активізованих тектонічних структурах;

- резонансні властивості ґрунтів на майданчику, що дозволяє ефективно і з відносно невеликими затратами захищатися від майбутніх

максимальних землетрусів шляхом внесення змін у власні періоди коливань об'єктів та їх відповідальних конструкцій для уникнення резонансних ефектів;

- дані для визначення кількісних параметрів проектного і максимального розрахункового землетрусів з місцевих і віддалених сейсмоактивних зон для побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції;

- параметри сейсмічних впливів на будівлі та відповідальні конструкції при реалізації сильних місцевих і віддалених землетрусів, потрібні для прийняття рішень про необхід-

ність (або відсутність необхідності) додаткової перевірки надійності споруд і обладнання, яке зазнало сейсмічних впливів;

- дані для оптимального налагодження параметрів датчиків вібраційного захисту.

На рис. 4 показано проект схеми розташування сейсмічних станцій локальної мережі навколо Хмельницької АЕС. Створення локальних мереж сейсмологічних спостережень навколо діючих атомних електростанцій дає змогу одержувати безпосередньо в районах їх розміщення записи землетрусів із сейсмоактивної зони Вранча, які можуть бути небезпечними для будівель і споруд майже на всій території України (рис. 5), а також записи промислових і спеціальних вибухів із локальних потенційно сейсмоактивних зон.

Записи сейсмічних подій з потенційно небезпечних сейсмоактивних зон, зареєстрованих сучасною цифровою апаратурою з надійним метрологічним забезпеченням, було використано для генерування розрахункових акселерограм за розробленою в ІГФ НАН України методикою [12–14].

В Інституті удосконалено методику проведення робіт із сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків методом інженерно-геологічних аналогій і методом сейсмічних жорсткостей. На основі розроблених способів отримання параметрів глинистості, пористості, вологості, густини, а також методик та апаратури для їх реалізації створено нову технологію визначення петрофізичних, інженерно-геологічних та інших параметрів приповерхневого геологічного середовища, від яких залежить несуча здатність ґрунтів при землетрусах і техногенних вібраціях. Розроблено і запатентовано низку нових способів визначення петрофізичних параметрів гірських порід.

Створено нову експериментальну апаратуру для радіоактивного каротажу і польових вимірювань концентрації метану в приповерхневих геологічних об'єктах. Проведено її випробування на реальних природних, техногенних і антропогенних об'єктах.

На основі комплексного аналізу сейсмологічних матеріалів, даних про тектоніку, геоди-

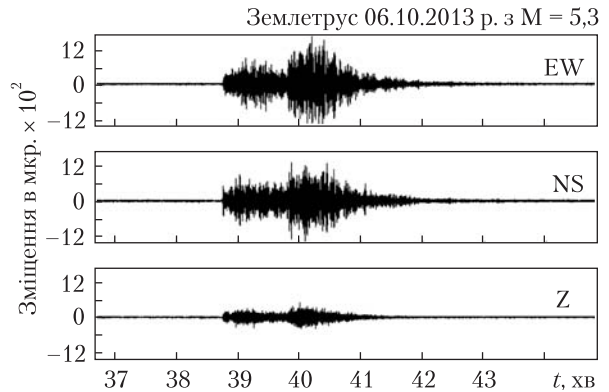


Рис. 5. Запис землетрусу із зони Вранча 06.10.2013 р., зареєстрованого на сейсмічній станції LVVO поблизу майданчика ЗАЕС

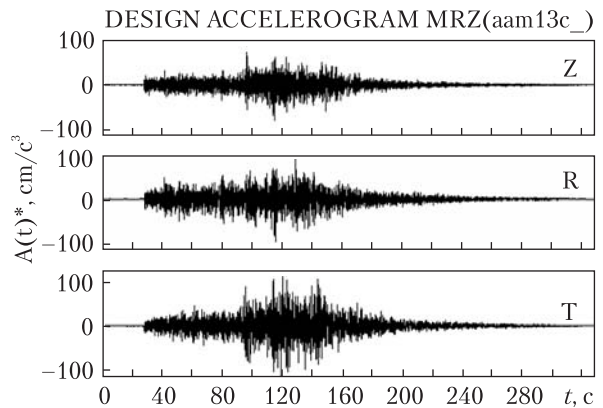


Рис. 6. Графік трикомпонентної розрахункової акселерограми для моделювання прискорення коливань вільної поверхні ґрунту на промайданчику Запорізької АЕС при реалізації на ньому максимального розрахункового землетрусу із зони Вранча

наміку та внутрішню будову літосфери розроблено нові ймовірнісні карти детального сейсмічного районування території розташування таких важливих промислових об'єктів, як Рівненська, Хмельницька, Южно-Українська, Запорізька АЕС, Київська і Каховська ГЕС, завод з виробництва ядерного палива в м. Смолине та ін. Для кожного з них побудовано також карти сейсмічного мікрорайонування промислових майданчиків. З використанням розробленої в ІГФ НАН України методики генерування розрахункових акселерограм побудовано і передано дирекціям усіх АЕС України набори

розрахункових акселерограм і спектрів реакції для моделювання сейсмологічних впливів від землетрусів зони Вранча і місцевих сейсмоактивних зон на відповідальні споруди та окремі конструкції для визначення рівня їх сейсмостійкості.

На рис. 6 наведено одну з трикомпонентних розрахункових акселерограм, побудованих для моделювання повного вектора прискорень у сейсмічних рухах поверхні ґрунту на майданчику Запорізької АЕС при максимальному розрахунковому землетрусі з інтенсивністю 7 балів, який може реалізуватися на майданчику станції один раз на 10000 років. Для практичного оцінювання сейсмостійкості АЕС сформовано комплекти для двох типів розрахункових акселерограм, що моделюють землетруси зони Вранча і землетруси з місцевих зон можливого виникнення вогнищ землетрусів (для ЗАЕС – це зона Конкського розлому).

У ІГФ НАН України визначено кількісні параметри розрахункових сейсмічних впливів, необхідні для проведення стрес-тестів на всіх АЕС України. Роботи ініційовано МАГАТЕ після японського землетрусу 2011 р., внаслідок якого було зруйновано реактори на атомних станціях Фукусіма-1 і Фукусіма-2.

Інститут виконав великий обсяг робіт з впровадження методичних і технічних розробок у практику визначення сейсмічної небезпеки житлового фонду в Криму, Закарпатті та Одеській області. Визначено кількісні параметри сейсмічної небезпеки й побудовано розрахункові акселерограми для сотні житлових будинків, усіх атомних станцій, ряду ГЗК, підпірних гребель, мостів, трубопроводів та інших важливих об'єктів.

Результати науково-дослідних робіт використовуються при викладанні спеціального курсу «Теорія сейсмічних хвильових полів» на геологічному факультеті Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

Експертна діяльність

На базі ІГФ НАН України працює наукова рада «Геодинаміка та прогноз землетрусів»,

яка координує наукові дослідження з питань глибинної будови Землі, динаміки земної кори, сейсмології, сейсмічного районування, прогнозу землетрусів. Зокрема, у 2013 р. наукова рада розглянула результати дослідження сейсмічних і сеймотектонічних умов майданчика Запорізької АЕС, встановила рівень їх наукового обґрунтування і рекомендувала прогнозовані кількісні параметри сейсмічних впливів для впровадження при визначенні сейсмостійкості важливих споруд АЕС та її відповідальних конструкцій.

Розглянувши питання стану апаратного забезпечення сейсмологічного моніторингу в країні, наукова рада запропонувала подати на розгляд Державної комісії з питань техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій на 2015 р. питання про проблеми модернізації апаратно-програмного забезпечення сейсмологічного моніторингу території України для захисту її населення та економіки від землетрусів. Необхідність його розгляду мотивована недостатнім забезпеченням сейсмологічних станцій НАН України стандартною міжнародно сертифікованою апаратурою сейсмологічного моніторингу, що стримує обмін цифровими матеріалами сейсмологічних спостережень у рамках Глобальної сейсмологічної мережі.

Висновки

У НАН України зосереджено всю мережу сейсмічних станцій України, яка забезпечує роботи з визначення кількісних параметрів реальної сейсмічної небезпеки і створює наукову основу для діяльності у сфері сейсмічного захисту населення та економіки країни. Низку аспектів розробленої в ІГФ НАН України методики проведення сейсмічного та геофізичного моніторингу впроваджено при забезпеченні функціонування мережі сейсмічних і геофізичних станцій у Центральному, Карпатському та Кримському регіонах України.

Матеріали сейсмічних і геофізичних спостережень використовують у підрозділах Мінпаливугілля України, Мінрегіонбуду України,

НАЕК «Енергоатом» та у ВАТ «Укргідроенерго» при розробленні організаційних заходів щодо забезпечення безаварійної експлуатації будівель, споруд, важливих і екологічно небезпечних об'єктів, які перебувають у їх відомчому підпорядкуванні.

Теоретичні розробки, програмне забезпечення, методики та результати сейсмічних спостережень застосовуються профільними підрозділами центральних і місцевих органів влади, організаціями, що здійснюють планування, проектування і геолого-геофізичні вишукування в сейсмічних районах, під час розроблення заходів для захисту населення і важливих господарських об'єктів від землетрусів.

На основі методики проведення сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків та методики побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції одержано кількісні параметри прогнозованих сейсмічних впливів, використані при проектуванні понад сотні висотних та експериментальних споруд будівельними організаціями Криму, Одеської області, Закарпаття; при проектуванні НАЕК «Енергоатом» нових потужностей Южно-Української і Хмельницької АЕС; при визначенні сейсмостійкості дзвіниці заповідника «Софія Київська»; при сейсмостійкому проектуванні та будівництві ТРЦ «Manhattan Mall» і НСК «Олімпійський» у Києві.

Побудовані в ІГФ НАН України карти загального і детального сейсмічного районування та сейсмічного мікрорайонування, розрахункові акселерограми і спектри реакції одиничних осциляторів із заданими власними періодами і загасаннями, пікові прискорення та інші параметри сейсмічних впливів при максимальних прогнозованих землетрусах використано при проведенні НАЕК «Енергоатом» на вимогу МАГАТЕ стрес-тестів атомних реакторів для динамічного розрахунку сейсмостійкості наявних і проєктованих споруд Чорнобильської, Рівненської, Хмельницької, Южно-Української, Запорізької АЕС, Каховської ГЕС, Київської та Новодністровської ГЕС і ГАЕС.

Рекомендації

1. Вирішення проблеми захисту від небезпечних природних та природно-техногенних процесів вимагає поступового переходу від традиційної практики ліквідації наслідків розвитку небезпечних процесів до реалізації стратегії їх попередження шляхом удосконалення моніторингу геологічного середовища та випереджальної нейтралізації загроз. Міжнародний досвід свідчить про те, що витрати, пов'язані зі стратегією упередження, є до 15 разів меншими, ніж збитки від наслідків небезпечних процесів і витрати на їх ліквідацію. Для реалізації стратегії упередження необхідно забезпечити фінансування розвитку та інструментального переоснащення системи моніторингу геофізичних полів, які відображують стан і динаміку геологічного середовища.

2. Реалізація Енергетичної стратегії України до 2030 року передбачає, як одне з важливих завдань, захист енергетичних об'єктів від землетрусів, згідно з нормативними документами [15, 16] та рекомендаціями МАГАТЕ [7]. Для проведення оцінки сейсмічної безпеки таких об'єктів на основі достовірних, одержаних з інструментальних спостережень сейсмологічних даних необхідно завершити створення локальних мереж сейсмологічних спостережень у районах розташування АЕС, ГЕС і ГАЕС, відповідно до Плану заходів з оцінки сейсмічної безпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС, затвердженого Міненерговугілля України, НАЕК «Енергоатом» та Державною інспекцією ядерного регулювання України.

3. Нині в південно-східних областях України діє лише одна сейсмологічна станція — «Дніпропетровськ». Потрібно створити мережу сейсмологічних станцій і Східний регіональний центр сейсмологічних даних, які органічно увійдуть до загальнонаціональної сейсмологічної мережі і дозволять ефективно долучитися до виконання затвердженої Кабінетом Міністрів України наприкінці 2012 р. Концепції Державної програми «Дослідження стану техногенної частини земної кори Криворізького залізо-

рудного басейну для запобігання виникнення на його території катастроф техногенного та природного характеру на 2013–2016 роки». Програма передбачає проведення комплексу науково-дослідних та інженерних робіт для виявлення, картування і районування території басейну з метою оцінки рівня безпеки його експлуатації та вироблення заходів з попередження надзвичайних ситуацій. Створення субрегіональної сейсмологічної та геофізичної мережі системного моніторингу для контролю активізації неотектонічних процесів (у тому числі природної і техногенної сейсмічності) на території Криворізької агломерації дасть змогу вивчити і в майбутньому прогнозувати сучасну активізацію тектонічних розломів, генетично пов'язану як з природними геодинамічними напруженнями, так і з впливом потужних вибухів під час видобутку руди наземними й підземними способами.

4. ІГФ НАН України пропонує поновити розроблення комплексної програми «Розробка оптимальної системи геофізичного моніторингу геологічного середовища з метою зменшення

негативних наслідків небезпечних природно-техногенних процесів у нафто- і гірничодобувних регіонах», спрямованої на розв'язання проблеми захисту від небезпечних природних та природно-техногенних процесів шляхом поступового переходу від традиційної практики ліквідації наслідків розвитку небезпечних процесів до реалізації стратегії їх упередження на основі удосконалення моніторингу стану і динаміки геологічного середовища.

5. На сьогодні фінансування мережі сейсмічних станцій НАН України здійснюється за КПКВ 6541030 (фундаментальні дослідження), що стримує її розширення і технічне оснащення. Доцільно повернутися до фінансування її діяльності окремим рядком у Державному бюджеті України за КПКВ 6541160, передбачивши не лише асигнування на зарплати, а й витрати на вкрай необхідний розвиток мережі (передусім на придбання стандартної сейсмологічної апаратури, відповідного програмного забезпечення, на оренду приміщень під пункти спостережень, транспортні послуги, енергозабезпечення та послуги інтернет-зв'язку).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation // Pure Appl. Geoph. — 1999. — V. 155. — P. 537–573.
2. Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін. Практичні питання динаміки будівель // Будівництво України. — 2013. — № 6. — С. 6–21.
3. Національний атлас України / за ред. Л.Г. Руденка та ін. — К.: Картографія, 2007. — 640 с.
4. ДБН В.1.1-12:2006. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво в сейсмічних районах України. — К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2006. — 84 с.
5. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. — К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. — 110 с.
6. Габсатарова И.П., Кендзера А.В., Свидлова В.А. и др. Новодарьевское землетрясение 11 мая 2004 г. с $M_w = 3.8$, $I_0 = 5-6$ (Украина) // Землетрясения Северной Евразии 2004 г. — Обнинск: ГС РАН, 2010. — С. 289–296.
7. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. — Vienna: IAEA, 2010. — 62 p.
8. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions // Int. J. Earthquake Eng. Struct. Dyn. — 1979. — V. 7. — P. 427–439.
9. Кендзера А.В., Стародуб Г.Р., Скляр А.М., Роман А.А. О некоторых аспектах сейсмического районирования слабоактивных территорий // Изучение сейсмических колебаний грунтов и сооружений. — М.: Изд-во МГК при Презид. АН СССР, 1989. — С. 76–82.
10. Кендзера А.В. Моделирование расчетных акселерограмм вранчевских землетрясений для промышленной площадки ЧАЭС // Проблеми Чорнобильської зони відчуження. — 1996. — Вип. 3. — С. 29–38.
11. Кендзера О., Пронишин Р., Вербицький С., Вербицький Ю. Розвиток методів прогнозування кількісних характеристик сейсмічних впливів для території України. Кінцевий звіт по темі № UA01004860P. — Львів: ІГФ НАН України, 1997. — 129 с.

12. Кендзера А.В., Скляр А.М., Роман А.А. и др. О возможности использования эмпирических передаточных функций среды при микрорайонировании территорий со сложным геологическим строением // Оценка эффекта сильных землетрясений. — М.: Наука, 1989. — С. 82—89.
13. Руководство по ядерной и радиационной безопасности: Определение исходных сейсмических колебаний грунта для проектных основ (РБ-006-98). Нормативный документ. — М.: НТЦ ЯРБ, 2000. — 76 с.
14. Кендзера А.В., Лесовой Ю.В., Езютов В.К. и др. Определение параметров сейсмических воздействий для сейсмостойкого проектирования в г. Одессе // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах: матер. наук. конф. (3—5 червня 2014, Львів). — С. 79—92.
15. ПНАЭ Г-5-006-87. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. — ГАЭН СССР, 1987. — 14 с.
16. НП-031-01. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. — М.: Госатомнадзор России, 2001. — 27 с.

Стаття надійшла 20.11.2014

А.В. Кендзера

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины
просп. Академика Палладина, 32, Киев, 03680, Украина

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ И ЗАЩИТА ОТ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Практическое внедрение разработок Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины

На территории Украины существует опасность местных землетрясений и сильных подкорковых землетрясений зоны Вранча (Румыния). ИГФ НАН Украины имеет весомые фундаментальные и прикладные результаты в сейсмологических исследованиях по изучению строения и динамики земных недр, развитию методик определения количественных характеристик реальной сейсмической опасности, необходимых для защиты населения и экономики страны от землетрясений. Результаты научно-исследовательских работ нашли практическое применение при формировании государственных нормативных документов в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, при определении сейсмостойкости жилья, АЭС, ГЭС и других важных объектов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая опасность, общее и детальное сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование, расчетные акселерограммы, сейсмостойкость.

O.V. Kendzera

Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine
32 Academician Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

SEISMIC HAZARD ASSESSMENT AND PROTECTION AGAINST EARTHQUAKES

Practical applications of developments of Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine

A hazard due to the local and strong subcrustal earthquakes from Vrancea zone (Romania) exists permanently on the territory of Ukraine. IGPh of NAS of Ukraine has some significant fundamental and applied results in the seismological studies of the structure and dynamics of the Earth's interior, of development of techniques for determining the quantitative characteristics of the real seismic hazard that are necessary to protect the population and economy of the country from earthquakes. The results of research works are implemented in formation of the state regulations in the field of seismology and earthquake engineering, in determination of seismic stability of housing, nuclear power plants, hydroelectric power stations and other important objects.

Keywords: earthquake, seismic hazard, general and detailed seismic zoning, seismic microzoning, design accelerograms, seismic resistance.