

**Старостенко В.І., Кендзера О.В., Лісовий Ю.В., Семенова Ю.В.,**  
*Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України*

## **РОЗВИТОК СЕЙСМОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ДЛЯ ЦІЛЕЙ СЕЙСМІЧНОГО ЗАХИСТУ**

*Головними задачами, які вирішуються на основі сейсмологічних спостережень, здійснюваних мережами сейсмічних станцій, є захист населення, житла і виробничих фондів від землетрусів (сейсмічний захист) та вивчення глибинної будови і геодинаміки Землі для цілеспрямованого пошуку корисних копалин. Обидві ці задачі можна успішно розв'язувати лише при наявності достатньо густої сейсмологічної мережі, що визначає актуальність її подальшого розвитку на території України.*

### **Вступ**

Аналіз тенденцій розвитку природних катастроф та їх прогноз на перспективу свідчать, що на території України є високий ступінь ризику виникнення землетрусів і пов'язаних з ними техногенних загроз, що робить актуальною проблему захисту від цих явищ.

Останніми роками Центральні органи виконавчої влади і органи місцевого самоврядування, зокрема, Міністерство з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи, Міністерство регіонального розвитку і будівництва, Міністерство економіки, Міністерство фінансів, Міністерство палива та енергетики України і Національна академія наук України багато уваги приділяють питанням захисту населення і економіки країни від землетрусів і супутніх загрозливих явищ.

### **Сейсмічна небезпека і сейсмічний ризик на території України**

Сейсмічний ризик, який описує потенційні втрати при майбутньому прогнозованому землетрусі, залежить від рівня сейсмічної небезпеки майданчика розміщення об'єкту та його сейсмічної вразливості і вимірюється у відсотках або у грошових обсягах економічних втрат.

Парадокс полягає у тому, що в районах з відносно низьким рівнем природної сейсмічної небезпеки, до яких відноситься значна частина території України, більшість споруд проектують не сейсмостійкими, внаслідок чого вони є не захищеними від рідких, але потенційно можливих, сейсмічних впливів (сейсмічно уразливими). З іншого боку, через низьку повторюваність землетрусів і відсутність достатньо густої сейсмологічної мережі на таких територіях, як правило, не існує реальних даних про можливі місцеві землетруси. В результаті, сейсмічний ризик слабо-сейсмічних територій і розміщених на них техногенно- і екологічно-небезпечних об'єктів є достатньо високим.

Сейсмічний ризик на території України є досить високим також через недостатню вивченість локальної сейсмічності і заниження оцінок реальної сейсмічної небезпеки нормативним документом БНіП-П-7-81 «Строительство в сейсмических районах» [1], який був чинним в Україні до 2007 року. Встановлення реальних параметрів сейсмічної небезпеки вимагає наявності даних інструментальних сейсмологічних спостережень за локальною сейсмічною активністю і проявами потужних віддалених сейсмічних подій.

Західна, південно-західна і південна частини території країни знаходиться в межах потужного сейсмоактивного поясу планети, який утворився внаслідок зіткнення Євразійської і Африканської материкових плит і простягається від Азорських островів через Середземне море — Чорне море — Кавказ і далі на Гіндукуш. Цей пояс також включає Карпатську дугу з сильними підкоровими землетрусами в зоні Вранча, які в минулому столітті 5 разів струшували не лише територію України, але навіть Москву і Санкт-Петербург. Землетруси на території України були в минулому, є тепер (фіксуються сейсмічними станціями і відчуваються людьми) і, на жаль, будуть в майбутньому.

На даний час місцеві землетруси проявилися на території АР Крим, у Передкарпатті, Закарпатті, Чернівецькій, Одеській, Вінницькій, Кіровоградській, Тернопільській,

Хмельницькій, Луганській областях та на півночі Львівської області. Сильні підкорові землетруси з вогнищевої зони Вранча (Румунія) відчуються людьми практично на усій території країни.

Згідно історичних відомостей, наведених в роботі [2], а також на карті ізосейст і гіпоцентрів землетрусів Східноєвропейської платформи (СЄП) [3], локальні сейсмічні події, що проявилися з інтенсивністю струшувань 5 – 7 балів, відбувалися на границі між Кіровоградською і Черкаською областями — 7 балів (у 1873 р.); у Донецькій області (район Константинівки) —  $6 \pm 1$  бал (у 1937 р.); Харківській — 5 – 6 балів (1858 і 1913 роки); Чернігівській —  $5 \pm 1$  балів (у 1905 р.); Тернопільській — 6 балів (у 2002 р.) і у ряді інших місць.

Магнітуди сейсмічних подій, відмічених у Львівській, Тернопільській, Чернівецькій, Хмельницькій, Кіровоградській, Одеській, Донецькій, Харківській, Черкаській і Чернігівській областях, при яких на поверхні ґрунту спостерігалися струшування інтенсивністю 5 – 7 балів за шкалою MSK – 64, відповідала  $M = 4,2 – 5,3$  [2, 4].

В умовах значної зношеності основних фондів суттєво збільшилися ризики, пов'язані із небезпечними впливами землетрусів, що, у свою чергу, підвищує рівень техногенної небезпеки в різних галузях народного господарства. Супроводжувані зсувами, обвалами, селями, цунамі та іншими небезпечними явищами, навіть невеликі землетруси можуть спричинити тяжкі матеріальні і соціальні наслідки.

Імовірнісні карти загального сейсмічного районування території України ЗСР– 2004 (А, В і С) увійшли складовою частиною, як Додаток “Б”, до Державних будівельних норм ДБН В.1.1 – 12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» [5]. Зони сейсмічної бальності на картах А, В і С відповідають 90%, 95% і 99% імовірності не перевищення прогнозованої інтенсивності сейсмічних струшувань за найближчі 50 років.

Порівнюючи карти ЗСР – 2004 з картою загального сейсмічного районування СР – 78 [1, 3], яка була чинною на території України з 1978 до 2007 року, легко бачити, що для ряду районів України стара карта занижувала реально існуючу небезпеку на 1 – 2 бали. Зауважимо, що для ряду інших територій СРСР ця карта, як впливає з досвіду землетрусів у Спітаку (Вірменія), Рачеджаві (Грузія), Газлі (Казахстан) і Північно-Сахалінську (Росія), також занижувала реальну сейсмічну небезпеку на 1–2 бали, що призвело до загибелі людей і значних матеріальних втрат. Слід відзначити, що катастрофічний землетрус 12.05.2008 р. в Китаї також призвів до загибелі понад 70 тис. чоловік і величезних втрат в економіці через занижену на 2 бали оцінку прогнозованої (нормативної) сейсмічної небезпеки, у порівнянні з зафіксованою в епіцентральної зоні. При правильному визначенні рівня сейсмічної небезпеки і його врахуванні при проектуванні і будівництві житла, промислових споруд і соціальної інфраструктури можна було б уникнути жертв, а матеріальні втрати були б мінімальними.

Відомо, що збиток від землетрусів можна істотно зменшити при належній технічній та організаційній підготовці до них. Знання реальної сейсмічної небезпеки, нарівні з надійними даними про сейсмічну уразливість споруд, необхідні для сейсмостійкого проектування і вироблення антисейсмічних заходів.

З огляду на зазначене, актуальним і життєво необхідним є вивчення сейсмостійкості існуючих будівель і споруд в районах, де сейсмічна небезпека за новою картою ЗСР – 2004 виявилася вищою від зазначеної на старій нормативній карті СР – 78. При цьому входними даними повинні служити матеріали інструментальних спостережень за місцевими і телесеїсмічними землетрусами на сейсмічних станціях, максимально наближених до досліджуваних споруд.

Існуючі в світі сучасні науково обґрунтовані ефективні концепції сейсмічного захисту включають: встановлення кількісних значень параметрів реальної сейсмічної небезпеки; зниження уразливості будівель і споруд шляхом підвищення сейсмостійкості вже існуючих і сейсмостійкого проектування нових; розробку і впровадження в дію норм сейсмостійкого будівництва, які відповідають реально існуючій сейсмічній небезпеці і враховують останні досягнення в галузі сейсмостійкого будівництва; запровадження державного і громадського контролю за сейсмостійким проектуванням і будівництвом та реальною сейсмостійкістю існуючих будівель і споруд; підвищення обізнаності населення

в питаннях захисту від землетрусів шляхом освіти і тренінгів; оперативне сповіщення про факт виникнення сильного землетрусу і швидке реагування на нього; надання допомоги постраждалому населенню; страхування від наслідків стихійних лих, у тому числі від землетрусів.

Досвід діяльності в галузі сейсмічного захисту таких розвинених країн, як Японія, США, Канада, Франція, Італія та ін., показує, що основною концепцією сейсмічного захисту в Україні повинно стати впровадження сейсмостійкого проектування і будівництва житла та промислових об'єктів на базі об'єктивних знань про кількісні параметри реально існуючої сейсмічної небезпеки в районах їх розміщення і на конкретних будівельних майданчиках. Знання реальної сейсмічної небезпеки, нарівні з надійними даними про сейсмічну уразливість споруд, є необхідними для сейсмостійкого проектування нових об'єктів і вироблення заходів щодо зниження сейсмічного ризику уже існуючих. Об'єктивні дані для діяльності в галузі захисту від землетрусів постачають мережі сейсмічних спостережень.

### **Проблема прогнозування часу виникнення землетрусу**

На побутовому рівні широко розповсюджена думка, що необхідно організувати сейсмічну службу подібну до метеорологічної і перед сильним землетрусом попереджувати владу і населення про час його виникнення і можливі наслідки. На жаль, такі уявлення не враховують усієї складності процесу підготовки і виникнення вогнищ землетрусів в неоднорідному геологічному середовищі. Ефективність одночасного прогнозування часу, місця і сили майбутнього землетрусу суттєво обмежується також відсутністю «розумних» сценаріїв реагування властей на такі прогнози. Переважна більшість прогнозів землетрусів на даний час носить так званий ретро-характер, коли після землетрусу дослідники переконують, що на основі ряду передвісників вони його прогнозували.

На жаль, передвісники землетрусів є лише необхідними, але не достатніми умовами для розв'язання задачі прогнозування часу виникнення землетрусів [6]. Для того, щоб відповісти на питання: "Чи приведе зміна напруженого стану середовища до порушення його суцільності, тобто до землетрусу?" — необхідно мати досить детальну модель середовища і процесів підготовки землетрусу, які в ньому відбуваються. Зауважимо, що детальне вивчення глибинної будови геологічного середовища, в якому готується вогнище землетрусу, може бути здійснене лише на основі розв'язку ряду обернених, некоректних у математичному відношенні, задач геофізики, що не дозволяє контролювати точність наближення моделлю реального середовища. Крім того, на час виникнення землетрусу можуть суттєво вплинути «тригерні ефекти» пов'язані з додатковими навантаженнями на геологічне середовище, або на зменшення його границі міцності.

На сьогоднішній день надійної методики прогнозування часу виникнення землетрусів нема, а найбільш ефективним шляхом пониження сейсмічного ризику для людей і майна є забезпечення правильного сейсмостійкого проектування житла і важливих промислових об'єктів в сейсмічних районах країни.

### **Сейсмостійке будівництво як метод захисту від землетрусів**

Як влучно зауважили відомі американські сейсмологи Дж.Гір і Х.Шах: «Вбивають людей не землетруси, а погано побудовані будинки і споруди ...» [7]. З огляду на це, сейсмічний захист, у першу чергу, полягає у будівництві сейсмостійких будівель і споруд, які б витримували, без катастрофічних руйнувань, максимальні землетруси потенційно можливі на майданчиках їх розташування.

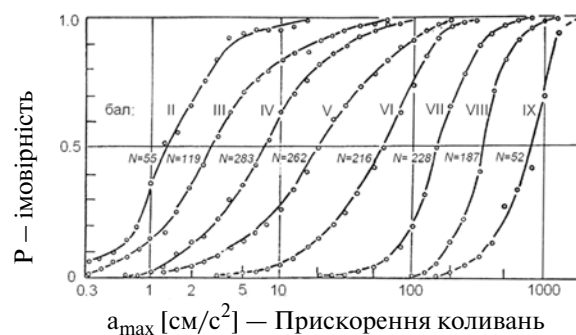
Забезпечення захисту населення в Україні, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій розглядається як невід'ємна частина державної політики, національної безпеки і державного будівництва, як одна з важливих функцій центральних та місцевих органів виконавчої влади.

Забезпечувати реалізацію сейсмічного захисту споруд, об'єктів і територій від майбутніх землетрусів повинні в межах своєї компетенції всі суб'єкти державної влади і господарювання на території України. Держава, представлена центральними органами влади, через сейсмологічну службу Національної академії наук України (НАН України) повинна

забезпечити достовірну і уніфіковану інформацію про те, від чого потрібно захищатися. До такої інформації належать дані про кількісні параметри сейсмічної небезпеки (у формі карт загального сейсмічного районування території країни і у формі баз цифрових записів коливань ґрунту, які спостерігаються при місцевих і віддалених землетрусах в різних її регіонах), а також сформувані законодавство, яке буде стимулювати впровадження (власниками і розпорядниками об'єктів) інженерних заходів з пониження сейсмічного ризику.

Остання вимога на даний час частково реалізована. З 2007 року на території країни діють нові державні будівельні норми ДБН В.1.1 – 12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України» [5], в яких у формі карт загального сейсмічного районування вказано прогнозований рівень сейсмічної небезпеки, сформульовані вимоги і пропонуються заходи щодо забезпечення сейсмостійкості будинків і споруд в конкретних сейсмічних умовах.

Слід зазначити, що карти загального сейсмічного районування (ЗСР) показують рівень сейсмічної небезпеки в балах макросейсмічної шкали MSK – 64 для ґрунтів 2-ї категорії за сейсмічними властивостями, а кожен із потенційних будівельних майданчиків може характеризуватися своїми ґрунтовими, морфологічними і тектонічними властивостями. Крім того, між сейсмічною бальністю майданчика і такими фізичними параметрами прогнозованих сейсмічних коливань, як: прискорення, швидкість, зміщення, розподіл часів приходу сейсмічних хвиль різних типів, тривалість коливань в максимальній фазі, спектральна густина, співвідношення компонент вектора коливань тощо, не існує прямих зв'язків. Як правило, такі зв'язки характеризуються складною статистичною визначеністю. Наприклад на рис. 1 показано статистичний зв'язок між сейсмічною бальністю і максимальним прискоренням спостережених коливань.



**Рис. 1.** Імовірнісний зв'язок між сейсмічною інтенсивністю в балах шкали MSK – 64 і максимальними прискореннями в коливаннях ґрунту. N — кількість використаних сейсмограм

Через постійну зміну геодинамічної ситуації та завдяки одержанню нових геолого-геофізичних даних і появи нових удосконалених методик визначення рівня сейсмічної небезпеки, існує необхідність регулярно поновлювати карти ЗСР території країни. Карти ЗСР території Радянського Союзу раніше готувалися АН СРСР на держзамовлення і поновлювалися приблизно раз у 10 років (1937, 1950, 1957, 1968, 1978 роки).

Основну інформацію для об'єктивної оцінки прогнозованої сейсмічної небезпеки (не лише в балах, але і в кількісних значеннях фізичних параметрів прогнозованих сейсмічних впливів) повинні забезпечити режимні сейсмологічні станції. Важливим завданням режимних сейсмологічних та інженерно-сейсмологічних спостережень є одержання об'єктивних даних для уточнення положень майбутніх редакцій Державних будівельних норм, а також для створення нових методик сейсмостійкого проектування важливих споруд, які повинні постійно удосконалюватися з урахуванням нових сейсмологічних знань, будівельних технологій та матеріалів.

Природні зміни геодинамічної ситуації призводять до відповідних змін напружено-деформованого стану геологічного середовища в основі будівель і споруд. З огляду на це, вивчення сейсмічної ситуації і визначення розрахункових сейсмічних впливів на важливі, нетипові (експериментальні) і багатоповерхові споруди, яке, як правило, поки що проводиться лише у перед проектний період, повинні доповнюватися постійним

контролем стабільності властивостей ґрунтів на будівельному майданчику та сейсмостійкості об'єктів в процесі їх експлуатації. Метою таких досліджень є одержання об'єктивних даних про стан об'єкту, а, при необхідності, оперативна розробка інженерно-технічних заходів щодо зміцнення ослаблених конструкцій і зниження сейсмічного ризику. При виконанні цих робіт використовуються дані режимних сейсмічних спостережень.

Сейсмологія володіє потужним арсеналом теоретичних методів, однак надійне прогнозування кількісних значень фізичних параметрів сейсмічних коливань при майбутніх землетрусах може бути здійснене лише на основі безпосередніх інструментальних сейсмологічних спостережень за землетрусами, вибухами і мікросейсмічними коливаннями. Сильні землетруси із небезпечних для будівельного майданчика вогнищевих зон відбуваються рідко. За відносно короткий час, відведений для проектування, як правило, такі землетруси зареєструвати не вдається. В якійсь мірі їх моделі можна одержати шляхом перерахунку на будівельний майданчик сейсмічних коливань, зареєстрованих на стаціонарних, постійно діючих (режимних) сейсмічних станціях.

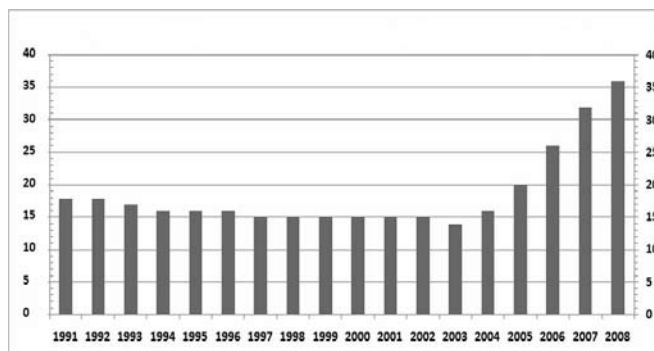
### **Необхідність подальшого розвитку мережі режимних сейсмічних станцій**

Чим ближче до будівельного майданчику розташована режимна постійно діюча сейсмічна станція, тим надійнішим буде визначення прогнозованих для нього кількісних значень фізичних параметрів сейсмічних коливань при майбутніх землетрусах. З огляду на це, мережа режимних сейсмічних станцій повинна бути достатньо густою.

Історично склалося так, що питаннями визначення сейсмічної небезпеки території країни, в цілому, територій населених пунктів і окремих будівельних та експлуатаційних майданчиків в Україні займалися підрозділи Національної академії наук України. Зокрема, в НАН України зосереджена мережа сейсмічних станцій, яка забезпечує необхідними даними інструментальних спостережень роботи з визначення кількісних параметрів реальної сейсмічної небезпеки та розвитку науково-методичної бази для усієї діяльності в сфері сейсмічного захисту населення і економіки країни.

Відомо, що кількість землетрусів, що відбуваються у світі, збільшується в експоненціальній прогресії при зменшенні їх величини. Суттєво збільшивши кількість сейсмічних станцій на території України можна підвищити чутливість сейсмологічної мережі до рівня невеликих землетрусів, які фіксуються лише інструментально. Це дозволить, емпірично вивчити (підтвердити, або відкинути) реальну геодинамічну активність різних тектонічних структур, на яких можуть виникати землетруси, і за спостереженими сейсмостатичними даними визначати сеймотектонічний потенціал таких структур.

На рис. 2 показана зміна кількості сейсмічних станцій НАН України по роках, починаючи з 1991 року.



**Рис. 2.** Зміна кількості сейсмічних станцій НАН України по роках.

Видно, що до 2004 року сейсмічні спостереження НАН України постійно скорочувалися. В цей період технічний стан сейсмологічної мережі прийшов у повний занепад. Причиною зазначених труднощів було нелогічне фінансування сейсмічних спостережень через Мінприроди і Національне космічне агентство України. Починаючи з 2004 року відновилося бюджетне фінансування «Сейсмічних та геофізичних спостережень»

безпосередньо через НАН України, в результаті чого почалося відновлення мережі інструментальних сейсмологічних та пов'язаних з ними геофізичних спостережень.

Важливою ланкою системи сейсмологічного моніторингу є створений в ІГФ НАН України Національний центр сейсмологічних даних (НЦСД). НЦСД здійснює збір і накопичення сейсмологічної інформації, виконує оперативну оцінку сейсмологічної обстановки у всіх регіонах України, дозволяє забезпечити сейсмологічними даними геофізичні дослідження внутрішньої будови Землі та роботи з сейсмічного захисту.



**Рис. 3.** Мережа сейсмічних і геофізичних станцій НАН України станом на січень 2009 р

Як видно з рис. 3, густина розташування сейсмічних станцій є відносно високою в західних областях України (Закарпаття і Передкарпаття), в Криму та поблизу Києва. Ще 2 сейсмічні і 1 геофізична станції розташовані в Одеській області і 1 сейсмічна станція - в Полтаві. Решта території країни фактично не забезпечена даними сейсмологічних спостережень, що не дозволяє надійно визначати рівень і кількісні характеристики її сейсмічної небезпеки. Подальший розвиток сейсмологічної мережі є вкрай необхідним для забезпечення оптимального сейсмостійкого проектування і будівництва важливих і екологічно небезпечних об'єктів, житлових будинків і громадських споруд.

### Висновки

Для реалізації ефективної державної політики в галузі захисту населення і економіки країни від землетрусів необхідно, у першу чергу, розвивати спостережні сейсмологічні та інженерно-сейсмологічні мережі, дані яких є основою для контролю за напружено-деформованим станом геологічного середовища, для встановлення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки а також для подальшого розвитку науково-методичної і нормативної бази. Захищатися від землетрусів повинні власники і розпорядники об'єктів за власні кошти, а для розширення мережі сейсмічних станцій країни і вдосконалення її апаратурного забезпечення необхідне державне цільове фінансове забезпечення.

1. Строительные нормы и правила. СНиП II-7-81\*. Строительство в сейсмических районах. — М.: Госстрой СССР, 1991. — 50 с.
2. Ананьин И.В. Сейсмоактивные зоны Восточно-Европейской платформы и Урала // Комплексная оценка сейсмической опасности. Вып. 32. — М.: Наука, 1991. С. 106 — 121.
3. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. // Отв. ред. В.И.Бунэ, Г.П.Горшков — М.: Наука, 1980. — 308 с.
4. 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.

5. Державні будівельні норми ДБН В.1.1 — 12:2006 «Будівництво в сейсмічних районах України». — Київ: Міністерство будівництва, архітектури і житлово-комунального господарства України, 2006. — 84 с.
6. Болт Б. Землетрясения. — М.: Изд-во Мир, 1981. — 256 с.
7. Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь. — М.: Мир, 1988. — 220 с.

**Старостенко В.И., Кендзера А.В., Лесной Ю.В., Семенова Ю.В. РАЗВИТИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ**

*Главными задачами, которые решаются на основе сейсмологических наблюдений, осуществляемых сетями сейсмических станций, является защита населения, жилья и производственных фондов от землетрясений (сейсмическая защита) и изучения глубинного строения и геодинамики Земли для целенаправленного поиска полезных ископаемых. Обе эти задачи можно успешно решать только при наличии достаточно густой сейсмологической сети, что и определяет актуальность дальнейшего ее развития на территории Украины.*

**Starostenko V.I., Kendzera O.V., Lisovyi Yu.V., Semenova Yu.V. DEVELOPMENT OF SEISMIC MONITORING NETWORK ON THE TERRITORY OF UKRAINE WITH REGARD FOR SEISMIC PROTECTION**

*The major tasks solved on basis of the seismic monitoring provided by seismic stations are the protection of population, housing and other buildings from earthquakes (seismic protection) and examination of deep structures and Earth's geodynamics for purposeful search for minerals. Both tasks can be successfully solved provided that there is a thick seismic monitoring network available. It determines necessity of its further development in Ukraine.*