

УДК 550.36:004.09:621.039

О.Б. Винниченко, менеджер з якості,
І.Г. Качалін, нач. наук.-дослід. від.

ПРАКТИЧНІ ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДИКИ АНАЛІЗУ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ ПОТЕНЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ. СЕЙСМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Описано основні практичні підходи до реалізації методики аналізу сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти (на прикладі АЕС України) в аспекті сейсмічної небезпеки території їх розміщення.

The main practical approaches to stages realization of the seismic risk analysis methodology and evaluation of the natural and man-caused processes impact on the potentially dangerous facilities on the example of Ukrainian Nuclear Power plants in the aspects of seismic hazard territory are presented.

Безпека на всіх етапах життєвого циклу потенційно небезпечних в екологічному аспекті об'єктів (АЕС, хімічні, ядерні та інші виробництва) є проблемою сучасності, для розв'язання якої проводять дослідження як за кордоном, так і в Україні [1]. Результати цих досліджень дозволяють підвищити рівень культури безпеки, захистити персонал, населення і довкілля від потенційної небезпеки під час експлуатації таких об'єктів. Вирішення проблеми забезпечення сейсмостійкості АЕС на сучасному етапі полягає в перегляді сейсмічності майданчиків і сейсмостійкості споруд, підвищенні сейсмостійкості на основі нових знань, досягнень науки і техніки, нормативного регулювання і ліцензування діяльності в галузі використання атомної енергії, що характеризується диференційованим підходом до аналізу і забезпечення сейсмостійкості діючих АЕС з урахуванням їх старіння, відмовлення і пошкоджуваності обладнання та трубопроводів, і проєктованих АЕС відповідно до вимог регулюючих документів [2]. На сьогоднішній день йде формування національної нормативно-правової та законодавчої бази, що саме ще не гарантує забезпечення потрібного рівня безпеки проживання населення в умовах експлуатації таких об'єктів. На усунення існуючих видів небезпеки як природного, так і техногенного походження потрібна певна частка матеріальних ресурсів суспільства. Розумному їх використанню сприяє проведення аналізу ризиків, що включає взаємозв'язок економічних, соціальних, екологічних і демографічних чинників, які характеризують рівень розвитку суспільства. Аналіз ризику полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпеки і визначення оцінки ризику можливих небажаних подій.

Матеріали, присвячені розгляду основних теоретичних підходів до практичної реалізації методики аналізу сейсмічного ризику, зокрема для територій розміщення АЕС, були представлені на наукових конференціях і описані в роботах [3; 4; 5; 6]. Для аналізу й визначення оцінки сейсмічного ризику територій розміщення потенційно небезпечних об'єктів було запропоновано використовувати методологічну базу, сформовану на основі системного підходу до ідентифікації чинників, що можуть вплинути на ухвалення рішення, імовірного методу аналізу, ризик-аналізу і теоретичних основ створення моніторингу літотехнічних систем. Це стало початком ініціативної роботи щодо визначення підходів до кількісного та якісного наповнення теоретичної моделі "забезпечення безпеки", як варіанта практичної реалізації методики аналізу сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на потенційно небезпечні об'єкти в аспекті сейсмічної небезпеки територій їх розміщення.

Технології визначення оцінок сейсмічної небезпеки ділянок земних надр залишаються поки що недостатньо розробленими. Критерії небезпеки з погляду сучасних сейсмологів різноманітні; у першу чергу оцінки ба-

зуються на історії сейсмічних подій – каталозі землетрусів району. Наприклад у Росії в 2001 р. розроблено і введено в дію настанову з безпеки "Оценка сейсмической опасности участков размещения ядерно- и радиационно опасных объектов на основании геодинамических данных. РБ-019-01". У ній розглянуті методи виділення та оцінювання небезпеки локальних зон можливих вогнищ землетрусів і оцінки максимальних магнітуд $M_{\max}$ землетрусів у межах платформної території; встановлені критерії виділення локальних зон і оцінювання $M_{\max}$ за геодинамічними даними в умовах дефіциту сейсмологічної інформації; визначений склад досліджень з вивчення геодинамічних зон і обґрунтування розміщення АЕС у межах блоку земної кори, не порушеного активними розломами.

Процес аналізу сейсмічного ризику [3] полягає в послідовному виконанні таких етапів: вибір об'єкта і методології оцінювання ризику цього об'єкта; ідентифікація активних чинників потенційних загроз; аналіз загроз і їх наслідків шляхом використання сценаріїв і алгоритмів для визначення слабких місць у захисній системі; одержання попередньої оцінки ризику і розробка на її основі нових захисних засобів; реалізація і перевірка обраних захисних засобів; встановлення оцінки ризику (диференціального або інтегрального). У цій ситуації аналіз сейсмічного ризику включає оцінку ризику джерела небезпеки і вимір цієї небезпеки за рівнем наслідків впливу на населення і навколишнє середовище.

Для розуміння принципових підходів до проведення аналізу сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на території розміщення потенційно небезпечних об'єктів уведено поняття: "сценарій" та "алгоритм", що взаємозалежні, і розгляд яких складає один з етапів дослідницької стадії аналізу небезпеки у випадку виникнення техногенного або природного явища (в окремому випадку землетрусу) [5; 6]. З їх допомогою стає можливим вивчення більшої кількості чинників і їх взаємодії з певним об'єктом у випадку ймовірного землетрусу. Це, у свою чергу, є вхідною інформацією для етапу оцінювання, а потім аналізу сейсмічного ризику територій розміщення об'єктів, що прямо пов'язано з аварійністю самих об'єктів і загрозою персоналу й населенню. Цим підкреслюється актуальність розглянутих підходів для забезпечення сучасного стану і рівня безпеки. "Сценарій" описує теоретичну або емпіричну модель розвитку "аварійної" ситуації в глобальному або регіональному (локальному) масштабі і при цьому не дає кількісної оцінки ситуації, тобто ми маємо деяку нормовану відносну модель процесу. "Алгоритм" допускає модель застосування того або іншого сценарію, при насиченні обраного сценарію реальною вимірювальною інформацією і на певних етапах розвитку передвибраного сценарію, що може бути замінений на інший з наступною адаптацією алгоритму (рис. 1).

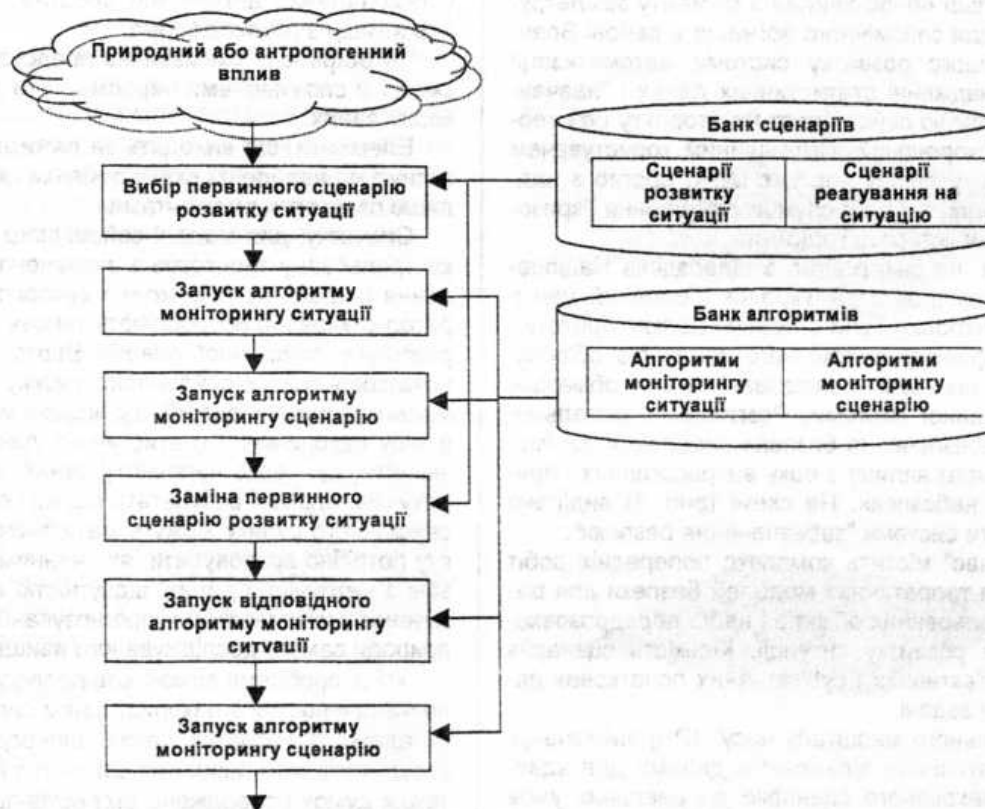


Рис. 1. Алгоритм роботи системи контролю небезпечної ситуації

Важливо відзначити, що на ряді виробництв усе яскравіше виявляється зацікавленість керівництва в запровадженні заходів щодо зниження потенційної аварійності виробничих об'єктів і мінімізації пов'язаних з нею фінансових витрат, що накладає додаткову відповідальність на ймовірність оцінок збитків. Аналізуючи сучасні підходи до проблем безпеки населення і країни від імовірного негативного впливу з боку антропогенних і природних джерел небезпеки, можна помітити, що пріоритетний розвиток має напрям розробки сценаріїв, а питання алгоритмів вирішення (виконання) цих сценаріїв недостатньо розроблені.

Територія України підпадає під вплив землетрусів із сейсмоактивних регіонів Румунії, Туреччини, Кавказу і, власне, України. Так найбільш небезпечними є Кримський, Карпатський і Південно-Західний регіони. Чинником сейсмічного ризику для АЕС є найсильніші підкорові карпатські землетруси зони Вранча в Румунії. Посилаючись на історичні дані [7], за період у 900 років відбувся 31 землетрус з магнітудою в епіцентрі від 6,5 до 7,5. Відбувалися локальні землетруси 5–6 балів не тільки в Криму і Карпатах, а й в межах Дніпровсько-Донецької западини і на іншій території України. Потенційною небезпекою є підвищена сейсмічна активність, пов'язана з зосередженнями слабких землетрусів та з повільними (несеїсмічними) переміщеннями за розломами. Варто враховувати, що сила можливого впливу землетрусів на АЕС та інші об'єкти з цих регіонів різна, але достатня для створення потенційно небезпечних умов їхньої експлуатації. Аналіз численних чинників, що впливають на показник сейсмічного ризику, підтверджує, що значний внесок у можливі негативні наслідки землетрусів роблять: сейсмічна небезпека, щільність населення та вразливість об'єктів. Одним із підходів до вирішення задачі забезпечення сейсмічної безпеки є сейсмічне районування території країни в цілому і, відповідно, "контрольованих" територій, де розміщені або планується розміщення потенційно небезпечних об'єктів. Це традиційні

роботи, що проводяться постійно і є обов'язковим елементом вивчення сейсмічного режиму території.

Оцінка сейсмічної небезпеки території – це оцінка параметрів розподілу ймовірності сейсмічного впливу за його сили в просторі і часі, а їхнє відображення на карті забезпечує розуміння сейсмічного районування. Також для оцінювання можливості активізації геодинамічних процесів на майданчиках АЕС розглядають результати моніторингових спостережень за тектонічними рухами, роботи локальних мереж сейсмостанцій і мереж інших геофізичних, гідрогеологічних і геохімічних спостережень, а також спеціалізованих геодинамічних полігонів.

З погляду на той факт, що структуру сейсмічної небезпеки визначають внеском двох складових – первинної і вторинної небезпеки, відзначимо, що первинна небезпека зумовлена впливом чинників, пов'язаних з землетрусом, а вторинна – процесами та явищами, що запускаються первинними чинниками. Традиційно як шкалу, за якою вимірюють (прогнозують) інтенсивність землетрусів, використовують MSK-64, у деяких країнах застосовують свої шкали інтенсивності землетрусів. На жаль, MSK-64 не відображає реальні "фізичні" рухи поверхні Землі і дає грубу і, найчастіше, важко застосовувати на практиці кількісну оцінку прояву землетрусу на контрольованій території [6]. Це один бік проблеми. З іншого боку, як один з елементів оцінки сейсмічної небезпеки поставлена задача оперативної кількісної оцінки сейсмічного впливу на контрольовану територію і об'єкти. Для вирішення цієї задачі був розроблений механізм оперативної оцінки "сейсмічної ситуації" для контрольованих територій і об'єктів у режимі обробки сейсмічних даних про землетрус. Результати оцінювання можуть бути використані для складання оперативного прогнозу стану певного об'єкта безпосередньо після сейсмічного впливу для реалізації, за потреби, адекватних заходів щодо ліквідації або запобігання наслідкам.

З досвіду практичної роботи [8; 9; 10], навіть за частково ручної обробки первинних сейсмічних даних, досяжний термін одержання оцінки сейсмічної небезпеки

становить не більш 40–50 хвилин з моменту землетрусу (наприклад, для сейсмічного вогнища в районі Вранча). За подальшого розвитку системи автоматизації обробки, нагромадження статистичних даних і "навчання" роботи з системою сейсмічного моніторингу цей термін може бути скорочений. Потенційним користувачем такої інформації, у першу чергу, є Міністерство з надзвичайних ситуацій, а також служби реагування і кризові центри інших міністерств і відомств.

Таким чином, на базі одного з підрозділів Національного космічного агентства України (Головний центр спеціального контролю) було створено деякий прототип Системи оперативного сейсмічного контролю об'єктів. Роботи ще не закінчені, реалізовані тільки обмежені функції проектованої системи. Розглянемо узагальнений підхід до забезпечення безпеки населення від імовірного негативного впливу з боку антропогенних і природних джерел небезпеки. На схемі (рис. 2) виділено основні елементи системи "забезпечення безпеки":

"Ап'риорний час" містить комплекс попередніх робіт щодо створення теоретичних моделей безпеки для різних типів контрольованих об'єктів і набір передрозрахованих сценаріїв розвитку ситуації. Кількість сценаріїв залежить від об'єктивних і суб'єктивних початкових даних і постановки задачі.

"Режим реального масштабу часу" (РЧ) забезпечує "систему" оперативними кількісними даними для адаптації передрозрахованого сценарію до реальних умов розвитку ситуації і первинної кількісної оцінки ситуації (інформація рівня РЧ).

"Режим оперативного масштабу часу" (ОЧ) забезпечує одно- або багаторівневе уточнення даних шляхом проведення додаткових вимірювань, залучення більш

удосконалених алгоритмів обробки даних, додаткової інформації з різних джерел.

"Інтерфейс..." схематично представляє порядок взаємодії зі споживачами інформації та джерелами додаткових даних.

Елементи, що виходять за режими РЧ і ОЧ, не розглянуті на наведеній схемі, оскільки ця стаття обмежена лише окремими елементами.

Спочатку, для моделі сейсмічного впливу на окремо контрольовану територію з визначеною щільністю населення (надалі, як таку можна використовувати і всю територію України) розробляють типову (первинну) модель розподілу сейсмічної енергії. Варто розуміти, що для початкової оцінки сейсмічного ризику достатньо базової моделі розподілу енергії, що згодом може бути уточнена в міру накопичення статистичних даних. Також слід зазначити, що через неповноту даних, закладених до розрахунків, кількісні результати оцінки і подальшого аналізу сейсмічного ризику можуть мати значну невизначеність, яку потрібно враховувати, як і чинники ризику, що пов'язані з неточністю даних, відсутністю прецедентів, обмеженими можливостями прогнозування, невизначеністю природи самого досліджуваного явища.

Усі ці проблеми вимагають проведення моделювання невизначеностей з використанням системної інформації, складеної з надійних даних попередніх спостережень, результатів можливих експериментів і наукових фактів, а також думок і тверджень експертів-професіоналів, можливих сценаріїв розвитку подій, позицій громадськості та осіб, що приймають керівні рішення.

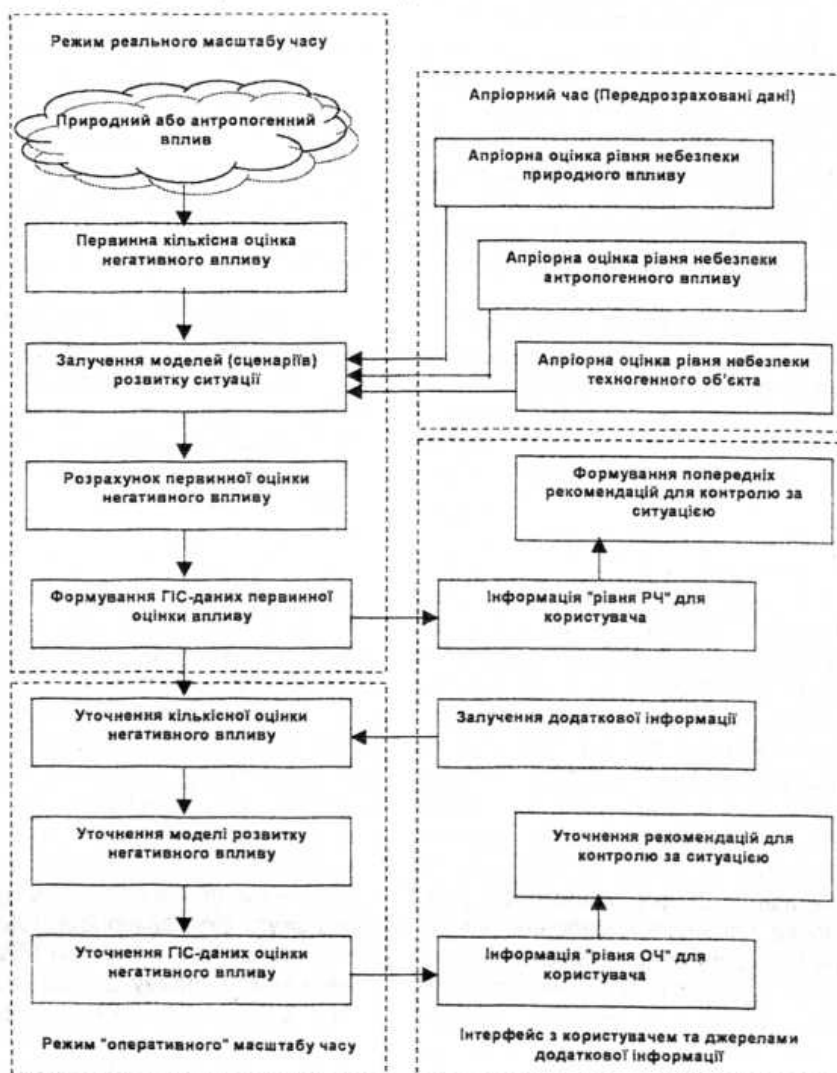


Рис. 2. Узагальнена схема роботи системи "забезпечення безпеки"

На основі накопичення вимірювальних даних, за результатами реєстрації землетрусів з району Вранча сейсмічними станціями, розташованими на території України, були побудовані деякі емпіричні залежності інтенсивності прояву землетрусу на різних відстанях від епіцентру і для різної глибини гіпоцентру. Між інтенсивністю (I_0) землетрусу в епіцентрі, що виражена в балах, і магнітудою (M) існують емпіричні співвідношення:

$$I_0 = 1,7 \cdot M - 2,2; \quad (1)$$

$$M = 0,6 \cdot I_0 + 1,2; \quad (2)$$

Рівняння (3) характеризує зв'язок між інтенсивністю коливання (I_0), магнітудою (M) і глибиною вогнища (H):

$$I_0 = a \cdot M - b \cdot \log H + c; \quad (3)$$

де a , b , c – коефіцієнти, які визначають емпірично для конкретного району землетрусу. Такі роботи були проведені та визначені коефіцієнти (у першому наближенні).

Крім того, була зроблена спроба адаптувати цю функцію для розрахунку інтенсивності землетрусу на віддаленні від епіцентру (I_R), у цьому випадку "вирішальна" формула має вигляд

$$I_R = A \cdot m_b - B \cdot \lg(\sqrt{H^2 + R^2}) + C; \quad (4)$$

де m_b – магнітуда, визначена за повздовжніми хвилями; H – глибина гіпоцентру; R – відстань від епіцентру до "контрольованої" точки.

Ілюстрацією розрахунків для вогнища з регіону Вранча є рис. 3, де наведені 3-D графічні зображення залежностей:

- рис. 3, а – модель для $m_b = 6,0$ і глибини джерела близько 50 км, масштаб по осях X , $Y \pm 2000$ км, розрахункова інтенсивність у джерелі становить близько 6,5 балів за шкалою MSK-64;

- рис. 3, б і рис. 3, в – окремі випадки моделей розподілу сейсмічної енергії. У першому випадку модель розрахована для магнітуди $m_b = 5$ і глибини джерела 30 км (інтенсивність в епіцентрі близько 3,5–4 балів, масштаб по горизонталі 3000 км), у другому – для магнітуди $m_b > 6,5$ і глибини джерела 80 км (інтенсивність в епіцентрі більш 7 балів, масштаб по горизонталі 2000 км), це наближена модель розподілу сейсмічної енергії для землетрусу в районі Вранча в 1977 р., коли інтенсивність землетрусу в Москві (відстань понад 1000 км) склала близько 4 балів.

Уточнення моделей проводять за результатами обробки статистичних даних про зареєстровані землетруси з конкретного джерела і формують "поверхню" поправок до первинної моделі (масив поправок за дальністю та азимуту) і уводять в обробку. Під час побудови "уточнювальної" моделі варто мати на увазі кілька моментів, що впливають на потенційну точність наближення моделі до реальних результатів.

По-перше, формула (4) залежить від положення джерела і визначальним чинником є глибина гіпоцентру. На графіку (рис. 4) простежується різкі зміни інтенсивності, зумовлена внутрішньою будовою Землі: перша на глибині близько 30–40 км зумовлений межею Мохо, а друга на глибині 80–110 км – зоною знижених швидкостей. У першому наближенні модель підходить як під вогнище в районі Вранча, так і під вогнище Кримського півострова. Природно, вдосконалення моделі продовжують і варто розуміти, що це вимагає накопичення достатнього обсягу статистичних даних.

По-друге, "уточнювальна" модель має враховувати азимутальне випромінювання сейсмічної радіації (енергії), як елемент геометрії джерела випромінювання – землетрусу.

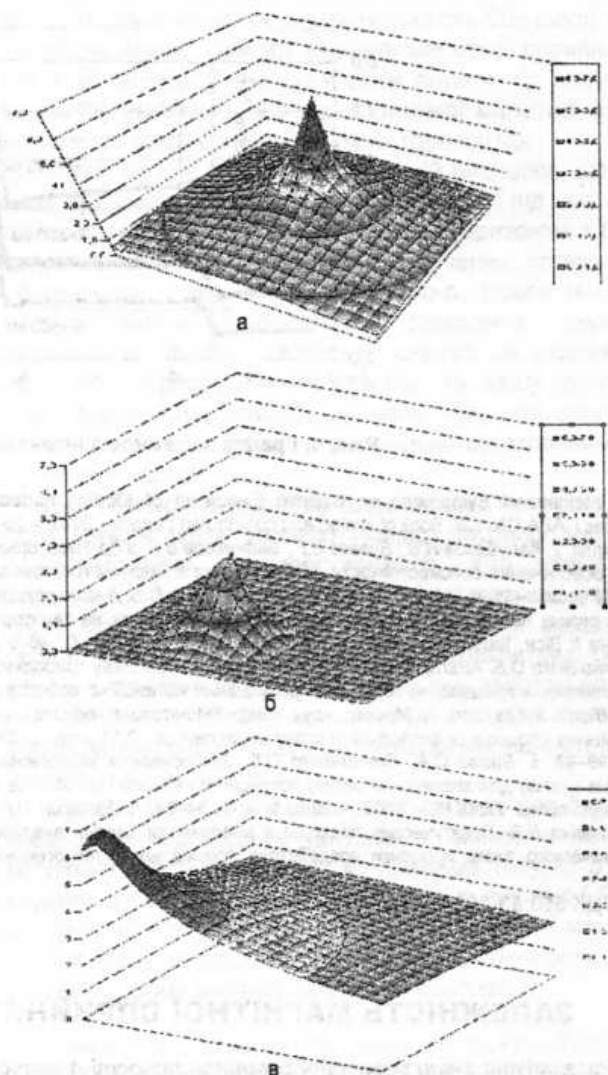


Рис. 3. Приклади розрахунків інтенсивності землетрусів (вогнище знаходиться в зоні Вранча)

Важливим під час створення "уточнювальної" моделі є врахування геологічних умов розміщення об'єктів і, що останнім часом стає актуальним, динаміки зміни локальних геологічних умов.

Таким чином, маючи комплекс указаних моделей, стає можливою реалізація оперативного моніторингу сейсмічної ситуації на території країни. Важливим у цьому відношенні є вибір району досліджень, коли потрібно враховувати, наприклад, такі чинники:

- фізичні і промислово-економічні показники території, а не адміністративні межі районів і областей країни;
- класифікацію підприємств і систем, що викликають стурбованість, або потенційних областей, на які може безпосередньо поширитися негативний вплив;
- установлення меж лише в процесі аналізу небезпеки;
- системи транспорту, використовувані для перевезення небезпечних матеріалів між об'єктами.

Сьогодні Україна має низку інститутів і організацій, що експлуатують мережі сейсмічних спостережень, мають засоби і достатній досвід обробки сейсмічних і геологічних даних, на основі яких можливе створення об'єднаного центра даних і системи оперативного аналізу сейсмічного ризику та оцінювання впливу природних і техногенних процесів на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів.

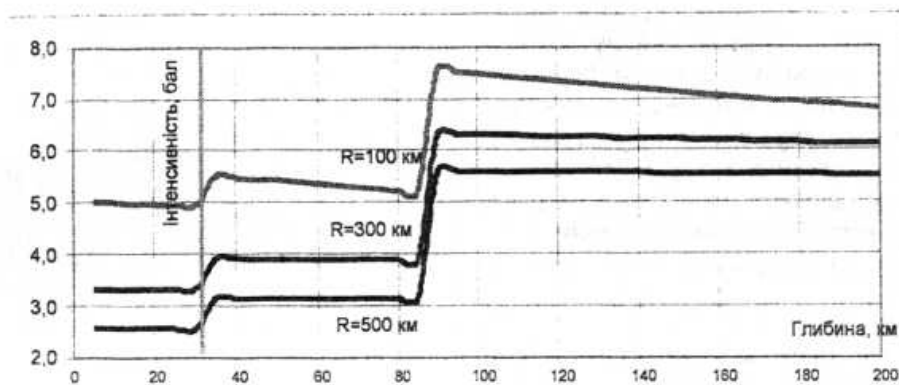


Рис. 4. Графік залежності інтенсивності землетрусу від глибини джерела

1. International Symposium on Seismic Evaluation of Existing nuclear Facilities / IAEA-CN-106, Book of invited and contributed papers – 2003. – 25–29 August. 2. Калиберда И.В., Бугаев Е.Г., Бедняков В.Г. и др. Некоторые итоги обеспечения сейсмостойкости АЭС в России // Вестник госатомнадзора России. – 2004. – № 2. – С. 7–16. 3. Винниченко О.Б. Анализ сейсмического риска потенциально небезопасных объектов, размещенных на территории Украины // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2004. – Вип. 29–30. – С. 46–51. 4. Винниченко О.Б. Анализ сейсмического риска та оцінка впливу природних та техногенних процесів на територіях розміщення потенційно небезпечних об'єктів // Тез. доп. IV Міжнар. наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", 9–11 жовт. 2003. – С. 98–99. 5. Вишва С.А., Винниченко О.Б. Застосування імовірнісних методів аналізу для визначення ризику потенційно небезпечних об'єктів // 36. наук. праць УкрДГРІ – 2003. – Вип. 1. – С. 54–58. 6. Качалин И.Г., Винниченко О.Б. Практические подходы к реализации задачи анализа сейсмического риска и оценки воздействия природных и техногенных

процессов на территориях размещения потенциально опасных объектов // Материалы V Міжнар. наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", 7–9 жовт. 2004. – С. 44–46. 7. Омельченко В.Д., Харитонов О.М., Скляр А.М. Сейсмическое микро-районирование промплощадки ЧАЭС и сейсмический мониторинг объекта "Укрытие" (за 1995–1996 гг.): Отчет ИГФ Украины. – К., 1996. 8. Качалин И.Г. Сучасні технології геофізичного моніторингу. Національний центр даних у системі геофізичного моніторингу // Тез. доп. IV Міжнар. наук. конф. "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища", 9–11 жовт. 2003. – С. 102. 9. Качалин И.Г., Дядюра В.А., Михайлик И.Ю. и др. Украинская сейсмическая группа. Специализированная цифровая система сбора сейсмической информации // Геофиз. журнал. – К., 2000. – № 3. – Т. 22. 10. Дядюра В.А., Будкевич В.Б., Качалин И.Г. Украинская сейсмическая группа. Контур реального времени // Геофиз. журнал. – К., 2000. – № 6. – Т. 22.

Надійшла до редколегії 22.12.04