

ПРО ВИБІР ПРОЕКТНОГО ЗЕМЛЕТРУСУ З ВРАХУВАННЯМ ЗАЛИШКОВОГО РИЗИКУ ЗБИТКІВ

Романчук К.Г., Стефанишин Д.В.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору
НАН України
м. Київ, Україна

АНОТАЦІЯ: Згідно з принципом розумно досяжних низьких рівнів ризику запропоновано спосіб обґрунтування проектного землетрусу за результатами оцінки залишкового ризику збитків.

АННОТАЦИЯ: В соответствии с принципом разумно достижимых низких уровней риска предложен способ обоснования проектного землетрясения за результатами оценки остаточного риска убытков.

ABSTRACT: According to principle of risk as low as reasonably practicable the method for grounding of design earthquake based on results of assessment of residual risk of damages has been proposed.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Байєсівське перетворення ймовірностей, залишковий ризик збитків, проектний землетрус.

ВСТУП

При проектуванні відповідальних інженерних споруд виділяють клас екстраординарних подій, що рідко повторюються, які регламентуються нормативно-технічною документацією як проектні з метою забезпечення належних рівнів надійності та безпеки споруд при екстремальних навантаженнях. До класу таких подій, збитки від яких мають мінімізуватися практично до нуля, відноситься і проектний землетрус (ПЗ).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ТА МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Згідно з чинними в Україні нормами [1] під проектним землетрусом (ПЗ) розглядають розрахунковий рівень сейсмічних впливів від землетру-

сів, що викликають на майданчику будівництва струси максимальною інтенсивністю за період від 500 до 1000 років. При цьому вважається, що протягом служби споруди (зазвичай, для відповідальних споруд призначені строки служби встановлюються до 100 років) залишковий сейсмічний ризик буде припустимим і має толерантно сприйматися суспільством.

Такий підхід до регламентації сейсмічної небезпеки не в повній мірі узгоджується з мінімізацією ризику при прийнятті рішень щодо антисейсмічних заходів [2] в рамках концепції розумно досяжного низького рівня ризику (risk as low as reasonably practicable, ALARP). Нагадаємо, що згідно з цією концепцією прийнятними рівні сейсмічного ризику можуть вважатися у випадках, коли вони є меншими за встановлену межу терпимості і коли подальше їх зменшення стає або практично неможливим (за наявних економічних, технологічних та ін. умов), або коли ціна такого зменшення стає непропорційно великою порівняно з отриманим при цьому підвищенням надійності споруди і безпеки населення.

Метою проведених нами досліджень є демонстрація можливості формалізованого обґрунтування ПЗ на основі кількісної оцінки залишкового ризику збитків в рамках класичної моделі ризику збитків як добутку величини збитку на ймовірність його реалізації з врахуванням дії землетрусів різної інтенсивності протягом служби споруди.

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РИЗИКУ ЗБИТКІВ

В сейсмоактивному районі протягом служби споруди з різною ймовірністю можуть очікуватися землетруси зі струсами різної максимальної інтенсивності, з якими можуть пов'язуватися різні наслідки. При цьому, як показано в [2], між сейсмічною інтенсивністю I в балах шкали MSK-64 і максимальним прискоренням a_{\max} , що є основною розрахунковою характеристикою, яка характеризує рівень сейсмічної небезпеки, встановлюється складна ймовірнісна залежність. Одні і ті ж сейсмічні прискорення a_{\max} , хоча і з різною ймовірністю, можуть прогнозуватися на значному діапазоні зміни інтенсивності сейсмічних струшувань. В свою чергу сейсмічна інтенсивність в балах, на різних ділянках майданчика може суттєво залежати від інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов.

Виділимо серед загального потоку сейсмічних подій в районі будівництва злічену групу (множину) таких подій $E = \{E_i\}$, $i = 1, n$, що можуть призводити до збитків, з відомими періодами повторення T_i , і, відповідно, апріорними ймовірностями реалізації подій $P(E_i) = 1/T_i$.

Нехай $\Psi(S)$ – структурна функція сейсмостійкості (надійності, безпеки) споруди, що відображає за ймовірністю множину сейсмічних подій E в множину збитків D :

$$\Psi(S) : E \rightarrow D. \quad (1)$$

За функцією $\Psi(S)$ оцінюється повна ймовірність виникнення збитку (будь-якого з можливих збитків внаслідок землетрусу) на множині D .

Встановимо злічену множину збитків D як злічену множину ідеалізованих подій-наслідків D_i , $i = \overline{1, n}$, виникнення кожної з яких пов'яжемо з однією із сейсмічних подій E_i з множини E , $i = \overline{1, n}$, структурними функціями $\Psi(S_i)$ сейсмостійкості (надійності, безпеки) споруди:

$$\Psi(S_i) : E_i \rightarrow D_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

За функціями $\Psi(S_i)$ оцінюються ймовірності виникнення кожного з очікуваних збитків D_i , $i = \overline{1, n}$, на множині D .

Використаємо класичну модель узагальненого (сумарного) ризику збитків від кількох подій у вигляді:

$$R(D) = \sum_{i=1}^n P(D_i) \cdot D_i, \quad (3)$$

де $R(D)$ – сумарний ризик збитків; $P(D_i)$ – безумовна (повна) ймовірність виникнення збитку D_i ; n – загальна кількість подій, що призводять до різних збитків D_i , $i = \overline{1, n}$, з різною ймовірністю.

Як показано в [3] модель (3) є чинною лише у випадку рівноймовірних збитків або при несумісній реалізації збитків D_i , коли кожна окрема реалізація збитку виключає інші реалізації на вибраному інтервалі часу.

Оскільки, в загальному випадку, сейсмічні події, що можуть призводити до збитків, на заданому інтервалі часу можуть бути сумісними, то для того, щоб скористатися моделлю (3) сформуємо на множині D повну групу подій. Для цього здійснимо байєсівське перетворення ймовірностей.

Покладається, що збиток може виникнути через будь-яку з сейсмічних подій E_i , $i = \overline{1, n}$, а повна ймовірність збитку D_i буде:

$$P(D_i) = P(D) \cdot P(D_i | D), \quad (4)$$

де $P(D)$ – ймовірність збитку внаслідок будь-якого з землетрусів, які можуть викликати збитки (встановлюється за структурною функцією $\Psi(S)$);

$P(D_i | D)$ – умовна ймовірність реалізації збитку D_i за умови, що відбувається будь-який землетрус, який може викликати збитки.

Ймовірність $P(D_i | D)$ в (4) є байєсівською ймовірністю, яка встановлюється за формулою Байєса:

$$P(D_i | D) = \hat{P}(D_i) \cdot P(D | D_i) / \sum_{i=1}^n \hat{P}(D_i) \cdot P(D | D_i), \quad (5)$$

де $\hat{P}(D_i)$ – апіорна ймовірність виникнення збитку D_i , яка визначається за структурною функцією $\Psi(S_i)$; $P(D | D_i)$ – умовна ймовірність виникнення збитку D_i на зліченій множині збитків D , яка, з метою формування повної групи подій, представляється нормалізованою «вагою» апіорної ймовірності $\hat{P}(D_i)$ в системі відповідних ймовірностей на D [3]:

$$P(D | D_i) = \hat{P}(D_i) / \sum_{i=1}^n \hat{P}(D_i). \quad (6)$$

В результаті проведеного перетворення ймовірностей за допомогою формули (3) отримуємо сумарний ризик збитків на множині D .

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглядалася група сейсмічних подій зі струшуваннями максимальною інтенсивністю за періоди: 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 і 5000 років. Оцінка залишкового ризику збитків здійснювалася для п'яти модельних варіантів залежності очікуваних збитків від періоду повторення сейсмічних подій. Дані для розрахунків наведено в таблиці та на рис. 1.

Дані для оцінки залишкового ризику збитків від землетрусів

Варіант	Очікувані збитки, млн. грн., при періодах повторення, роки								
	10	20	50	100	200	500	1000	2000	5000
1	50	100	250	500	1000	2500	5000	10000	25000
2	50	120	400	1000	2000	5000	10000	15000	25000
3	30	120	500	1300	2700	5000	8000	10000	12000
4	50	70	150	270	500	1300	3000	7000	25000
5	80	100	160	250	450	1000	2500	7000	35000

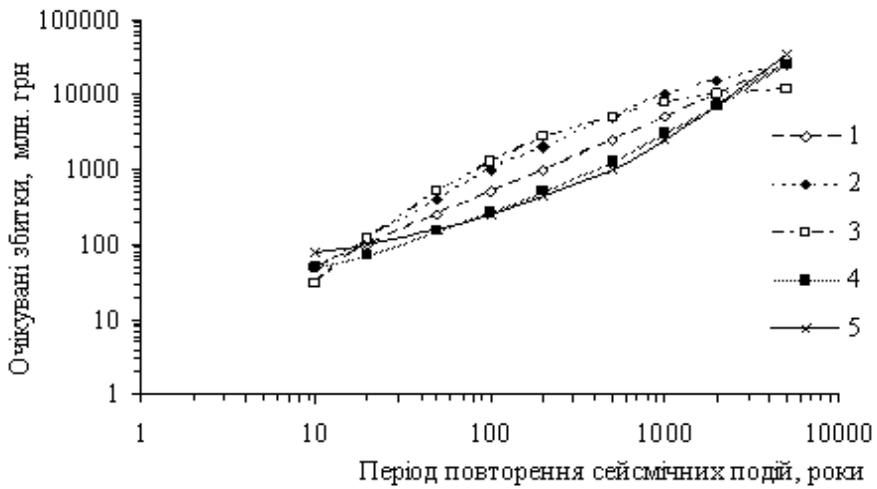


Рис. 1. Варіанти кривих зв'язку між очікуваними збитками та періодом повторення землетрусів

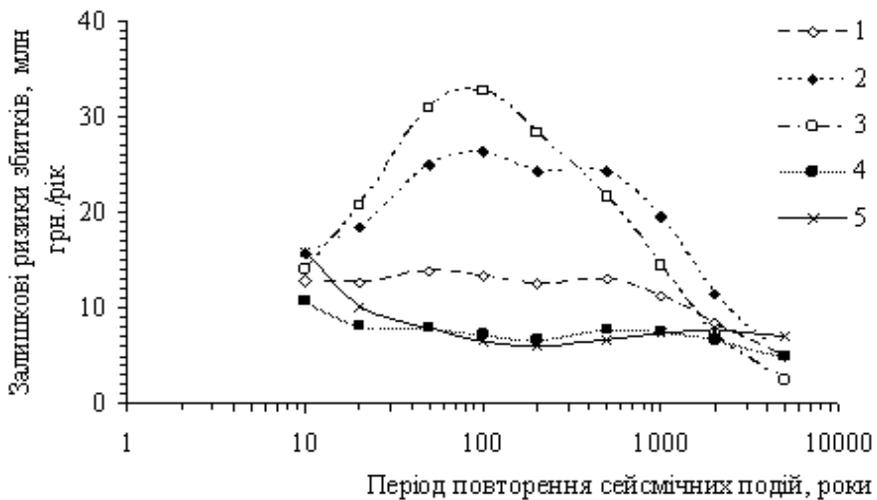


Рис. 2. Графічна ілюстрація результатів оцінки залишкових ризиків збитків за даними, які наведено в таблиці та на рис. 1

Результати розрахунків у вигляді кривих залишкового ризику збитків в залежності від періоду повторення землетрусів, що можуть перевищити рівень землетрусу, при якому збитки виключаються проектними рішеннями (рівень ПЗ), представлено на рис. 2.

При розрахунках залишкового ризику збитків апріорні ймовірності виникнення збитків, з запасом ризику, прирівнювалися до ймовірностей виникнення відповідних сейсмічних подій: $\hat{P}(D_i) = P(E_i) = 1/T_i$. Повна ймовірність виникнення збитку внаслідок землетрусів, що за інтенсивністю можуть перевищити рівень землетрусу, при якому збитки виключаються, оцінювалася за формулою:

$$P(D) = 1 - \prod_{i=k}^n [1 - P(E_i)], \quad (7)$$

де k – індекс, що присвоюється наступній сейсмічній події, що за інтенсивністю перевищує рівень землетрусу, при якому збитки виключаються.

ВИСНОВКИ

Отримані результати показують, що вибір ПЗ в значній мірі може залежати від характеру зв'язку між очікуваними збитками та періодом повторення сейсмічних подій. Оцінка сейсмічного ризику з використанням байєсівського перетворення ймовірностей дозволяє проконтролювати вплив цього зв'язку на залишковий ризик збитків, виявити сейсмічні події, які можуть бути рекомендовані в якості ПЗ, що дозволить зменшувати залишковий ризик збитків, і відповідно, формалізувати процес вибору ПЗ з врахуванням залишкового ризику збитків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинний від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Національний стандарт України).
2. Стефанишин Д.В. Методологія оцінки та врахування сейсмічного ризику при прийнятті рішень (імовірнісний підхід) / Д.В. Стефанишин // Будівельні конструкції. «Будівництво в сейсмічних районах України»: зб. наук. праць. – К.: ДП НДІБК, 2012. - Вип. 76. - С. 199-204.
3. Stefanyshyn D.V. Use of the Bayes' approach for assessment of damage risks of system failures / D.V. Stefanyshyn, K.G. Romanchuk // Proc. of Int. Scientific School "Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems". July 7-11, 2009. - Saint-Petersburg, Russia. - P. 165-169.

REFERENCES

1. Construction in seismic regions of Ukraine: DBN B.1.1-12:2006. – [Effective as of 2007-01-02]. – K.: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. – 84 p. – (National Standard of Ukraine) (in Ukrainian).
2. Stefanyshyn D.V. The methodology of evaluation and consideration of seismic risk in decision-making (probabilistic approach) / D.V. Stefanyshyn // Building construction. «Construction in seismic regions of Ukraine». Collected Works. – K.: DP NIISK? 2012. - Vol. 76. - P. 199-204 (in Ukrainian).
3. Stefanyshyn D.V. Use of the Bayes' approach for assessment of damage risks of system failures / D.V. Stefanyshyn, K.G. Romanchuk // Proc. of Int. Scientific School “Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems”. July 7-11, 2009. - Saint-Petersburg, Russia. - P. 165-169.

Стаття надійшла до редакції 11.12.2014 р.