

*к.т.н. Дикань С.А.,
к.т.н. Зима О.Є.
Україна, Полтава,
Полтавський національний технічний університет
імені Юрія Кондратюка*

ESTIMATION OF NATURAL AND TECHNOLOGICAL RISK FOR HUMAN

Annotation. The method of risk assessment for human health, which as a result of emergencies is under the influence of occasional emerging extreme loads, is considered in the article. It can be determined using the model of "load - bearing capacity" due to the frequency of deaths. It is shown, that losses for a person can be caused by both direct influence, and remote consequences of dangerous phenomena, the mechanism of onset of which is similar to mechanism of action of unfavorable industrial factors. The probability of negative events for the time interval t can be estimated from their frequency (intensity), if we consider these events as a stream of random events. Assuming that the conditions for the realization of danger in the interval of observation time remain unchanged, we have a simple Poisson stream of random events. The main characteristic of such events is their frequency. Here is an example of the risk assessment of deaths from radiation damage.

Key words: risk, emergency situations, extreme loads, affecting effects, probability.

ОЦІНЮВАННЯ ПРИРОДНОГО Й ТЕХНОГЕННОГО РИЗИКУ ДЛЯ ЛЮДИНИ

Вступ. Безпека людини і навколишнього природного середовища, їх захищеність від впливу небезпечних техногенних, природних, екологічних та соціальних чинників є неодмінною умовою сталого розвитку суспільства [1]. Актуальність проблеми забезпечення природної та техногенної безпеки зумовлена тенденціями зростання загрози життю і здоров'ю людей, збитків та шкоди територіям, спричиненими небезпечними природними явищами, промисловими аваріями й катастрофами. Ризики виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру невпинно зростають [2].

У надзвичайних ситуаціях природного і техногенного характеру на людину діють негативні чинники: вибуху, обвалення будівельних конструкцій і руйнування елементів обладнання, електричного струму, пожежі, опромінення, токсичної дії небезпечних хімічних речовин, надлишкової дії повітряної ударної хвилі тощо. Їх результатом може бути шкода для життя і здоров'я.

Збиток для людини може бути обумовлений як прямим впливом, так і пов'язаний з віддаленими наслідками небезпечних явищ, механізм настання яких аналогічний механізму дії несприятливих умов (наприклад, професійні шідливості). Відповідно розрізняють моделі оцінки збитку для здоров'я людини в залежності від тривалості і рівнів негативних впливів [3]:

а) збитки, зумовлені прямою дією, мають місце при короткочасно діючих уражаючих факторах значної інтенсивності, зазвичай відбуваються у випадкові моменти часу в формі небезпечних явищ.

Збиток для людини в цьому випадку настає в разі перевищення рівнями впливів деяких граничних значень для об'єкта впливу.

Для кількісних оцінок використовується факторна модель «діюче навантаження - критичне навантаження (або несуча здатність)». Приміром, несучі здатності для людини по деяким факторам такі: іонізуюче випромінювання – 4,5 Зв; надлишковий тиск – 100...200 кПа; куля стрілецької зброї – 200...300 м/с; алкоголь в крові – 5 проміле; електричний струм напругою 220 В – 100 мА;

б) віддалені наслідки мають місце при небезпечних процесах, що характеризуються тривало діючими слабоінтенсивними негативними факторами (наприклад, підвищені концентрації шкідливих речовин в повітрі, малі дози радіації тощо), в результаті яких в організмі людини спостерігаються несприятливі ефекти, що впливають на її здоров'я. Кількісна оцінка збитку для людини від слабоінтенсивних факторів проводиться за допомогою моделі залежності «доза-ефект».

Результати дослідження. Наслідки для конкретної людини від негативних впливів будь-якого виду описуються бінарною змінною

$$w = \begin{cases} w_0 = 0 \text{ (збитку немає), якщо } u \leq u_{кр} \\ w_1 = 1 \text{ (збиток є), якщо } u > u_{кр} \end{cases},$$

де u - діюче навантаження, $U_{кр}$ - несуча здатність конкретної людини.

Несуча здатність залежить від диференціальних характеристик негативних впливів, зокрема від тривалості дії. Для сукупності індивідів вона має істотний діапазон (тобто є випадковою величиною $U_{кр}$), яка в задачах прогнозу зазвичай не враховується (беруться середні значення).

Ризик для здоров'я довільної людини з деякої популяції, яка піддається епізодично виникаючим екстремальним впливам, можна визначити з використанням моделі «навантаження - несуча здатність» через частоту смертей за формулою

$$\lambda_0 = \lambda_e P(U > U_{кр}),$$

де λ_e і λ_0 - частоти негативних і уражаючих впливів відповідно, U - випадкова величина рівнів негативних впливів, $P(U > U_{кр})$ - умовна ймовірність смерті, тобто ймовірність уражаючого впливу, умовою якого є перевищення діючого навантаження понад критичну для людини величину.

Звідси

$$a_0(\Delta t) = a_e(\Delta t) \cdot P(U > U_{кр}),$$

де $a_e(\Delta t) = \lambda_e \Delta t$ і $a_0(\Delta t) = \lambda_0 \Delta t$ - математичні очікування кількості негативних і уражаючих впливів за рік відповідно.

Індивідуальна ймовірність смерті обчислюється як ймовірність хоча б одного вражаючого впливу на рік. Для рідкісних подій

$$Q_0(\Delta t) \approx a_0(\Delta t),$$

тобто ризик виражається через частоту λ_0 уражаючих впливів.

Його також можна визначити за формулою

$$R = \sum_{i=0}^{\infty} (i+1) P(H_1)^i (1-P(H_1)) w_1^i = Q_1 \mathbf{1}((t)) w_1 \mathbf{1} = Q_1 \mathbf{0}((t)) P(U \leq U_{кр}) = Q_1 \mathbf{0}((t)),$$

де $P(H_1) = Q_e(\Delta t)$ - ймовірність гіпотези хоча б одного впливу негативних факторів на людину в інтервалі Δt ; $P(H_0) = 1 - Q_e(\Delta t)$ - ймовірність гіпотези відсутності негативних впливів на людину в інтервалі часу Δt ,

$Q_0(\Delta t) = Q_e(\Delta t) P(U > U_{кр})$ - ймовірність уражаючих впливів на людину протягом року.

Для тривало діючих факторів $Q_e(\Delta t) = 1$. Тоді індивідуальна ймовірність смерті від тривало діючих факторів, що створюють навантаження u , визначається по залежності

$$Q_0(\Delta t, u) = P(U_{кр}(\Delta t) < u),$$

яка фактично є функцією розподілу критичного навантаження для довільної людини з деякої популяції (залежність «доза ефект»). Однак у даному випадку діючим навантаженням є накопичена за інтервал часу Δt доза від розглянутого фактора

$$u = \int_1(t) \mathbf{1}([P, \max(t) dt]),$$

де $p_{max}(t)$ - залежність рівня діючого навантаження від часу. При цьому несуча здатність людини залежить від часу набору дози. Чим більше час дії негативного фактора, тим несуча здатність вище, оскільки підключаються компенсаторні механізми людського організму.

Висновки. Розглянемо приклад оцінювання ризику для людини від радіаційного опромінення. Відомо, що ризики передчасної смерті людини, спричинені дією радіації, є прямо пропорційними еквівалентній дозі опромінення. Залежність «доза-ефект» для

радіаційно-індукованого раку має вигляд $R = r \cdot H$; де $r = 5 \cdot 10^{-2} \text{ 1/Зв}$ – коефіцієнт фатального ризику; H – еквівалентна доза опромінення.

Який буде ризик смерті від раку, спричиненого радіаційним опроміненням, якщо потужність експозиційної дози опромінення становить в середньому 15 мкР/год?

1. Знаходимо експозиційну дозу випромінювання, викинуту протягом одного року:

$$ED = 15 \text{ мкР/год} \times 24 \text{ год} \times 365 \text{ діб} = 131400 \text{ мкР} = 0,13 \text{ Р.}$$

2. Припустимо, що вся радіація, викинута протягом одного року, йде на ушкодження організму людини. Тоді випромінювання дози $0,13 \text{ Р}$ означає опромінення людини дозою $0,13 \text{ бер}$ (бер, як відомо, – «біологічний еквівалент рентгена»).

3. Оскільки $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$, знаходимо величину еквівалентної дози опромінення H :

$$H = \frac{(1 \text{ Зв}) ((0,13 \text{ бер}))}{100 \text{ бер}} = 0,0013 \text{ Зв} = 1,3 \text{ мЗв} \quad (\text{за 1 рік})$$

4. Розрахуємо ризик смерті від раку:

$$R = (5 \cdot 10^{-2} \text{ 1/Зв})^{-1} (0,13 \text{ бер})^{-1} (1,3 \cdot 10^{-3} \text{ Зв})^{-1} = 6,5 \cdot 10^{-5}$$

Отже, при використанні лінійної безпорогової концепції від фонові радіації ризик смерті становитиме $6,5 \cdot 10^{-5}$. Це означає, що протягом року від природного фонового рівня радіаційного опромінення від захворювання на рак помре 6...7 осіб серед ста тисяч. За міжнародною шкалою ризиків смертельних небезпек [4] такий ризик розцінюється як відносно середній.

Список літератури

1. Глобальна оціночна доповідь про зменшення ризику природних лих: Global assessment report on disaster risk reduction / UN International Strategy for Disaster Reduction Secretariat. – New York : UN, UNISDR, 2009. – 207 p.
2. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2016 році. Електронний доступ: <http://www.dsns.gov.ua/ua/Analitichniy-oglyad-stanu-tehnogennoyi-ta-prirodnoyi-bezpeki-v--Ukrayini-za-2015-rik.html>
3. Общая теория рисков: учеб. пособие / Я.Д. Вишняков, Н.Н. Радаев. – 2-е изд., испр. – М., Издательский центр «Академия», 2008. – 368 с.
4. Смирнов В.А., Дикань С.А. Безпека життєдіяльності. Університетський курс [Текст]: навч. посіб. для студ. вищ. нав. закл. / В.А. Смирнов, С.А. Дикань. – Вид. 2-ге, перероб. і доп. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2014. – 349 с.