

## УРАХУВАННЯ РИЗИКІВ ВИНИКНЕННЯ АВАРИИ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

**Анотація:** В статті розглянуто теоретичний і фактичний ризик виникнення аварії на об'єкті на прикладі 30-ти поверхової будівлі. Розкрито можливість експериментального визначення середнього рівня надійності конструкції.

**Ключові слова:** теорія ризиків, фактичний ризик, теоретичний ризик, гранично – допустимий ризик, ймовірність аварії, закон розподілення.

Існуюча тенденція підвищення ризиків для існування людини в останні роки призвела до концентрації інтересу до проблеми забезпечення стійкості будівель при аварійних ситуаціях.

Теорія, в основу якої, покладена концепція про те, що будь-яка конструкція в процесі експлуатації неминуче підлягає ризику руйнації – називається теорією ризиків.

Теорія ризиків допомагає знайти найбільш ефективне рішення проектування будівель та споруд шляхом порівнянь варіантів, для кожного з яких визначається ризик. Варіант вирішення, що має найменший ризик, як правило є оптимальним [1].

Допустимий ризик визначається на основі статистичних даних і залежить від умов та строків експлуатації конструкції, а також від її конструктивних особливостей, призначення та ступеня відповідальності. При цьому аналізуються ряд подібних споруд (їх проектні рішення, ризики аварій, що виникали протягом періоду їх служби), що експлуатуються вже деякий час, та враховуються зміни в нормативних документах, умовах побудови та експлуатації об'єкту.

Крім того при оцінці допустимого ризику для тієї або іншої споруди детально аналізуються економічні витрати, що можуть з'явитися в наслідок аварії на об'єкті. До таких витрат відносять: витрати на демонтаж зруйнованих конструкцій, на їх відновлення чи ремонт; витрати від втраченої вигоди, тобто відсутність деякого прибутку через виключення об'єкту з робочого стану; витрати на компенсації збитків (матеріальних, моральних, екологічних, соціальних і т.д.).

Провідними світовими експертами була виконана оцінка ризиків аварій при спорудженні різних видів об'єктів [1] (Рис.1.).

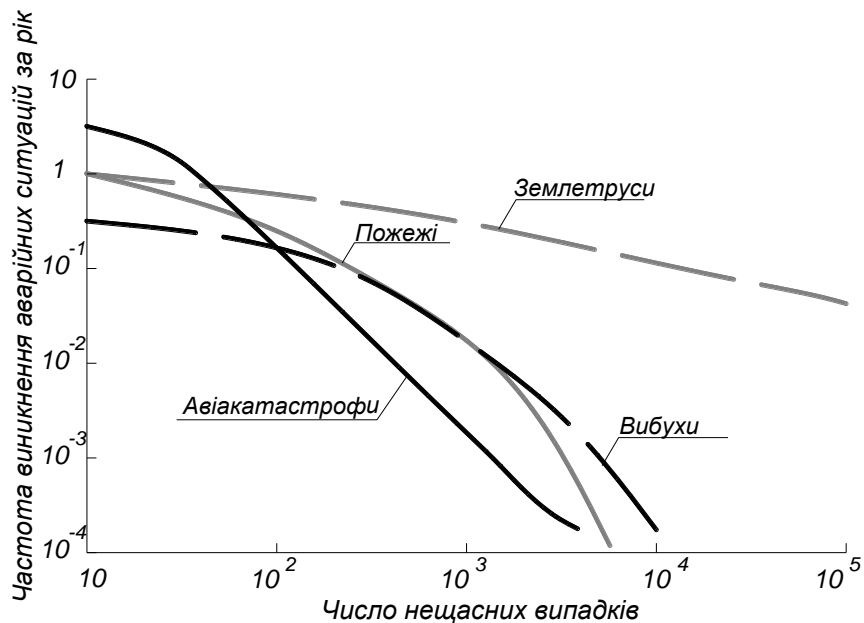


Рис.1. Залежність виникнення нещасних випадків від частоти та виду аварійної ситуації

При обґрунтуванні складу заходів протиаварійного захисту розглядають три області:

- ризик менше  $5 \cdot 10^{-5}$  – область зневажливо малих ризиків, заходів щодо їх зниження не вимагається; степінь ризику в даній області характеризується як низька;

- ризик від  $5 \cdot 10^{-5}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  – область, яка вимагає прийняття відповідних заходів для зниження ризиків з урахуванням економічної (фінансової) доцільності цих заходів; степінь ризику для даної області характеризується як середня;

- ризик більший ніж  $1 \cdot 10^{-3}$  – область недопустимого ризику, яка потребує обов'язкового виконання заходів задля зниження цього ризику, не зважаючи на розмір фінансових затрат; степінь ризику даної області характеризується як висока [1].

В деяких країнах, включаючи і Україну, величина допустимого ризику регламентуються на законодавчому рівні. Наприклад, декларація російського наукового товариства аналізу ризику «Об установлении предельно-допустимого уровня риска» пропонує для потенційно небезпечних виробничих об'єктів Росії встановити гранично допустимий рівень індивідуального ризику в діапазоні  $10^{-4} \dots 10^{-5}$  в рік [2]. В Україні рівень допустимого ризику регламентується нормами радіаційної безпеки України та для населення складає  $10^{-5}$ , а значення зневажливо малого ризику заходиться в межах  $10^{-6}$ . В Нідерландах та Франції значення максимально допустимого ризику для життя людини складає  $10^{-6}$ , а в Америці цей показник варіює від  $10^{-4}$  до  $10^{-5}$  в рік. В Англії в якості

нижньої границі допустимого ризику для життя використовується величина  $10^{-6}$ .

Ризик або небезпека, пов'язана з використанням кожної окремої конструкції в споруді, залежить від частоти й інтенсивності аварії, що відбувається в результаті її руйнування. Інтенсивність аварії може вимірятися грошовим еквівалентом збитку, заподіяного аварією, або іншим показником (наприклад, втратою площі) [3]. Отже, в залежності від прийнятих проектних рішень (поперечний переріз, тип армування несучого елемента, застосування класу бетону та ін.) кожного разу буде змінюватися і ймовірність відмови даного елемента та аварії об'єкта в цілому.

Аналізуючи залежність витрат на забезпечення надійності будівлі і зменшення рівня ризиків виникнення аварії необхідно акцентувати увагу на важливі особливості цієї залежності. При збільшенні ймовірності виникнення аварії на об'єкті передбачені витрати на його експлуатацію значно зростають у порівнянні з витратами на зменшення такої ймовірності. Тобто збільшення рівня надійності вигідніше ніж свідоме його заниження (особливо для будівель з підвищеною відповідальністю). Треба також пам'ятати, що зменшити рівень ризиків до нуля не можливо, навіть дотримуючись всіх нормативних вимог. Першочергове зниження рівня ризиків до допустимих значень не вимагає великих затрат, але подальше його заниження буде значно дорожчим і потребує детального обґрунтування доцільності.

При проектуванні кожній будівлі задається теоретичний рівень ймовірності аварії, але уже на стадії проектування, а потім зведення та експлуатації допускається ряд помилок (помилки проєктантів, порушення технології будівництва, неправильна експлуатація будівлі, нещасні випадки, техногенні аварії, природні катаклізми і т.д.), що призводять до утворення додаткової ймовірності виникнення аварії об'єкта. По завершенню будівництва як сума передбачених та не передбачених ризиків утворюється фактичний ризик виникнення аварії.

Рівність теоретичної і фактичної ймовірності виникнення аварії може існувати лише в ідеальних умовах, тобто якщо на всіх стадіях проектування, зведення та експлуатації будівлі не було допущено жодної помилки. В реальних умовах постійно відбувається внутрішній та зовнішній вплив на будівлю. Зовнішній вплив майже не залежить від дій людини і на практиці можна лише передбачувати ймовірність його виникнення. Наприклад, при будівництві в сейсмічній зоні передбачується можливість коливань землі та приймаються відповідні заходи для забезпечення надійної експлуатації будівлі. Внутрішній вплив пов'язаний в

основному з помилками людей, що виникають на етапах розробки та застосування нормативних документів, проектування, вибору та проведення будівельно-монтажних робіт, експлуатації будівлі та ін. В роботі [4] автор розкриває теорію незалежності помилок, в якій показано, що причиною аварії об'єкта найчастіше є сукупність декількох помилок (архітектора, проектувальника чи виконавця робіт). Враховуючи цю гіпотезу, можна отримати загальну оцінку ймовірності аварії саме в наслідок людських помилок в межах  $10^{-3}$  до  $10^{-9}$ .

В роботі [5], Мельчаковим А. П. отримана величина нормального ризику аварії, яка підтверджує те, що після закінчення будівництва ймовірність виникнення аварії збільшується в два рази, у порівнянні з теоретичною величиною, що закладається проєктантами на основі нормативних документів.

В експерименті розглядалася 30-ти поверхова житлова будівля, запроектована у монолітному залізобетонному каркасі з безригельним виконанням перекриття. Просторова жорсткість та стійкість споруди забезпечується роботою просторової системи, що утворена вертикальними елементами (ядрами жорсткості – стінами ліфтово-сходового вузла, колонами та залізобетонними стінами) і незмінним в своїй площині жорсткими дисками перекриттів. Фундаменти – комбіновані свайно-плитні. Колони – перемінного перерізу, в залежності від їх місце розташування в плані і по висоті. Стіни жорсткі – товщиною 200 і 300 мм. Висота поверху становить 3.0 м. Класс бетону В30, класс робочої арматури А500С, А240С. Висота монолітної плити перекриття 300 мм. Досліджується ризик виникнення аварії будівлі при пошкодженні колони першого поверху середнього ряду (а саме: відхилення верху колони від вертикалі на 60 мм) [6].

Несучий каркас будівлі – це сукупність деякої кількості  $n$  несучих елементів будівлі (фундаменти, колони, діафрагми, плити перекриття та ін.), який сприймає всі навантаження, що впливають на будівлю та передає їх на основу, а також забезпечує просторову незмінність (жорсткість) та стійкість будівлі. Надійність будівлі чи споруди залежить від надійності кожного конструктивного елемента несучого каркасу цієї будівлі.

Для виконання експерименту по розрахунку фактичного ризику аварії об'єкта використовувалися формули Мельчакова А. П. [5], який до нормального рівня надійності відносить рівень  $p_n$ , при якому забезпечується нормальний (звичайний)  $R_n$  ризик аварії об'єкта.

$$p_n = (R_n)^{-1/n} \quad (1)$$

Відповідно до гранично-допустимого рівня надійності буде відноситися рівень  $p_{nd}$ , при якому забезпечується гранично-допустимий  $R_{nd}$  ризик аварії об'єкта.

$$p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} \quad (2)$$

Об'єкт дослідження перебуває на стадії завершення будівництва, тож фактичний строк експлуатації даної будівлі становить - 0 років.

Число груп однотипних конструкцій несучого каркасу для 30-ти поверхової будівлі:  $n = 126$ .

В якості критеріїв оцінки технічного стану будівлі використовуються вимоги конструктивної безпеки будівлі:

1. Фіксовані середні значення ризику аварії, до складу яких відносяться:

- нормальний ризик аварії об'єкту:  $R_n = 2$ ;
- гранично-допустимий ризик аварії:  $R_{nd} = 19$ ;
- граничний ризик аварії:  $R_n = 83$ .

2. Стандартні рівні надійності груп несучих конструкцій, до складу яких відносяться:

-нормальний рівень надійності експериментальної конструкції:  
 $p_n = (R_n)^{-1/n} = 2^{-1/126} = 0.995$ ;

-гранично-допустимий рівень надійності експериментальної конструкцій:  $p_{nd} = (R_{nd})^{-1/n} = 19^{-1/126} = 0.983$ .

Середній рівень надійності в групі (колони)  $M_p = 0.850 - 0.873$ .

Отже, розрахунковий гранично-допустимий рівень надійності конструкцій, яким має володіти об'єкт, становить:  $p_{nd} = 0.983$ , але при пошкодженні колони першого поверху фактичний середній рівень надійності знаходиться в межах  $0.850 - 0.873$ , що значно нижче допустимого показника.

Тому можна зробити висновок, що в разі виникнення аварійної ситуації, яка приведе до відхилення верху колони від вертикалі на 60 мм однієї колони будівлі, вся конструкція не зможе протидіяти локальному, а в майбутньому і прогресуючому руйнуванню. В наслідок експерименту було встановлено, що конструкція потребує введення додаткових заходів щодо збільшення середнього рівня надійності будівлі, її міцності і стійкості, і, як наслідок, попередження прогресуючих руйнувань при подібному пошкодженні конструкції.

### **Висновки:**

Отже, незважаючи на додаткову міцність і стійкість, яку надають проектувальники конструктивному елементу чи будівлі, існує велика кількість факторів, що можуть стати причиною виникнення аварії на будівництві (техногенні аварії, природні катаклізми, помилки

проектувальників, будівельників, контролерів порушення правил експлуатації та ін.). Фактичний ризик виникнення аварії завжди перевищує нормативний. І хоча неможливо точно передбачити час чи причину виникнення надзвичайної ситуації, але спираючись на нормативну літературу і статистичні данні, необхідно впроваджувати заходи щодо зменшення соціальних та економічних збитків [7]. На основі проведеного дослідження було виявлено, що 30-ти поверхова будівля не володіє достатнім рівнем надійності і для попередження локальних чи прогресуючих руйнувань потребує введення додаткових заходів збільшення її міцності та стійкості.

Крім того, необхідно відпрацювати такий механізм, при якому створення системи безпеки буде не лише обов'язковою, але і вигідною мірою у порівнянні з витратами на відновлення будівлі чи компенсації збитків від її руйнування.

### Список літератури

1. Синицин А. П. Расчет конструкций на основе теории риска - М.: Стройиздат, 1985. – 304 с.
2. Алмазов В. О., Плотников А. И., Расторгуев Б. С. Проблемы сопротивления зданий прогрессирующему разрушению // Научно-технический журнал «Вестник», № 2. – М.: МГСУ, 2011. – С.15-20.
3. МНС Ураїни. Аналіз надзвичайних ситуацій в Україні за 2004 рік. Концепція управління ризиками надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру. - <http://www.mns.gov.ua/quarter/index.php>
4. Перельмутер А. В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций – М.: АСВ, 2007. – 254 с.
5. Мельчаков А. П. Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса зданий, строений и сооружений. (Методика и ее инженерные приложения): Учебн. пос. для самост. раб. студентов / А.П.Мельчаков – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 44 с.
6. Мисливець К. М. Аналіз надійності висотної будівлі з урахуванням ризиків прогресуючого обвалення: дис. на здоб. кваліфік. «Магістр будівництва» / К. М. Мисливець. – К.: 2010. – 197 с.
7. Тамразян А. Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Научно-технический журнал «Вестник», № 2. – М.: МГСУ, 2011. – С.21-27.

**Annotation:** In the article the theoretical and actual risk of origin of failure is considered on an object on an example to 30 - superficial building. Possibility of experimental determination of middle level of reliability of construction is exposed.

**Keywords:** theory of risks, actual risk, theoretical risk, maximum - acceptable risk, probability of failure, distributing law

**Аннотация:** В статье рассмотрен теоретический и фактический риск возникновения аварии на объекте на примере 30-ти этажного здания. Раскрыта возможность экспериментального определения среднего уровня надежности конструкции.

**Ключевые слова:** теория рисков, фактический риск, теоретический риск, предельно – допустимый риск, вероятность аварии, закон распределения.