

## З М І С Т

ВСТУП.....	6
ТЕРМІНИ ТА ПОЗНАЧЕННЯ.....	11
1. ОГЛЯД ДОСВІДУ ПРОЕКТУВАННЯ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ.....	21
1.1. Найкращі хмарочоси світу.....	21
1.2. Особливості проектування багатопверхових та висотних будівель за допомогою системи автоматизованого проектування «Сапфір».....	31
2. АВАРІЇ БУДИНКІВ ТА СПОРУД.....	39
2.1. Прогресуюче обвалення висотних будівель.....	39
2.2. Забезпечення стійкості висотних будівель від прогресуючого обвалення внаслідок пожежі.....	52
2.3. Основні причини аварій будівель і споруд.....	60
2.4. Ознаки аварійного стану несучих конструкцій будівель і споруд.....	69
2.5. Аналіз надійності будівель з урахуванням ризиків прогресуючих обвалень.....	72
2.6. Приклади аварій при експлуатації об'єктів будівництва.....	78
3. ЖИВУЧІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	86
3.1. Забезпечення живучості будівель та споруд – як фактор зниження втрат в умовах аварійної ситуації.....	86
3.2. Живучість сталезалізобетонного каркасу.....	93
3.3. Забезпечення живучості будівельних конструкцій при аварійних впливах.....	95
3.4. Живучість висотних будівель.....	101
3.5. Живучість будинків та споруд.....	103
4. НАДІЙНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ БУДИНКІВ ТА СПОРУД.....	106
4.1. Надійність конструкцій будинків та споруд на всіх етапах життєвого циклу.....	107
4.2. Безпека та надійність експлуатації сучасних будівель.....	111
4.3. Проектування та експлуатація будівельних конструкцій з урахуванням їх надійності.....	115
4.4. Методи підвищення надійності та довговічності висотних споруд з металевим каркасом.....	121
4.5. Врахування класу відповідальності будівель і споруд при проектуванні їх конструктивних елементів.....	125
5. ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ АВАРІЙ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	132
5.1. Зниження ризиків і пом'якшення наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру.....	132
5.2. Основні види ризиків у підземному будівництві.....	134
5.3. Оцінювання ризику на потенційно небезпечних об'єктах в умовах невизначеності.....	136
5.4. Методика розрахунку фактичного ризику аварії об'єкту.....	149
5.5. Оцінка сейсмічної безпеки будівель, споруд і конструкцій із застосуванням теорії ризику.....	151
5.6. Врахування ризиків виникнення аварій при проектуванні будівель та споруд.....	157
6. БЕЗПЕКА БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД.....	165
6.1. Оцінка безпеки будівель і споруд.....	165
6.2. Проблеми моніторингу інженерної безпеки будівель і споруд.....	165
6.3. Безпека висотних будівель.....	169
6.4. Основні принципи забезпечення безпеки будівельних конструкцій.....	179
7. ТЕХНІЧНИЙ СТАН БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	187
7.1. Структурно-логічний аналіз взаємозв'язку між категоріями технічних станів будівельних конструкцій.....	187
7.2. Аналіз умов забезпечення ефективної експлуатації будівельних конструкцій.....	195
7.3. Визначення категорійності технічного стану будівельних конструкцій в залежності від природних та технологічних впливів.....	197
7.4. Обстеження технічного стану будівельних конструкцій.....	201

8. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЖИВУЧОСТІ КОНСТРУКЦІЙ.....	211
8.1. Загальні положення. Основні визначення.....	211
8.2. Методика визначення ризику аварії.....	212
8.3. Методика рішення задач деформування та руйнування конструкцій.....	218
8.4. Нормативні вимоги по забезпеченню надійності та конструктивної безпеки будівельних об'єктів.....	220
9. ПРОТИДІЯ ПРОГРЕСУЮЧОМУ ОБВАЛЕННЮ БУДИНКІВ ТА СПОРУД... ..	224
9.1. Протидія прогресуючому обваленню каркасів висотних будівель.....	224
9.2. Прогресуюче обвалення і аварійна розрахункова ситуація.....	229
9.3. Захист залізобетонних будівель каркасного типу від прогресуючого обвалення.....	234
9.4. Прогресуюче обвалення висотних будівель.....	236
10. МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ БУДИНКІВ З ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ.....	243
10.1. Огляд систем автоматизованого проектування, використаних для розрахунків у будівництві.....	243
10.2. Аналітичні дослідження. Алгоритм проектування конструкцій... ..	254
10.3. Основні методики розрахунку конструкцій за граничними станами.....	268
10.4. Методи динамічного розрахунку.....	279
10.5. Методи розрахунку висотних будівель та споруд з монолітного залізобетону на основі пошарової деталізації.....	281
10.6. Конструктивні вимоги щодо розрахунку та захисту будівель від прогресуючого обвалення.....	293
10.7. Пошук ефективних рішень забезпечення живучості будівельних конструкцій при короткочасному динамічному навантаженні .....	295
10.8. Методика розрахунку будівельних конструкцій на одиничну живучість.....	298
10.9. Розрахунок будівель на прогресуюче обвалення будівель динамічним методом .....	304
10.10. Аналіз і систематизація результатів проведених досліджень.....	314
10.11. Особливості розрахунку та захисту будівельних конструкцій від прогресуючого обвалення.....	324
10.12. Розрахунок сейсмостійкості будівлі на стійкість щодо прогресуючого обвалення внаслідок пожежі.....	333
11. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ.....	342
11.1. Методи моделювання аварійних ситуацій.....	342
11.1.1. Приклад розрахунку багатопрольотної рами на прогресуюче обвалення при видаленні середньої колони.....	349
11.1.2. Приклад розрахунку багаторольотної рами на прогресуюче обвалення при видаленні крайніх колон.....	353
11.1.3. Приклад розрахунку реальних будівель на прогресуюче обвалення.....	356
11.2. Методи розрахунку висотних монолітних будівель на різні види динамічних впливів.....	361
11.2.1. Особливості експлуатації будівель в сейсмічних районах.....	361
11.2.2. Методика чисельного моделювання сейсмічних впливів... ..	365
11.2.3. Моделювання впливів метрополітену на несучі конструкції будівель, розташованих навколо.....	371
ПІСЛЯМОВА .....	378
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	380
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ .....	449



## ВСТУП

---

У зв'язку зі значним зношенням основних фондів в країні, а отже і зі зростаючою кількістю аварійних ситуацій техногенного характеру забезпечення конструктивної безпеки будівельних систем набуває все більшого значення.

Статистика показує, що 80 % випадків аварій, що трапляються на будівництві з обваленням несучих конструкцій об'єкта, виникають у наслідок людських помилок, що допускаються при проектуванні, зведенні та експлуатації будівлі чи споруди. Ці помилки формують внутрішній (об'єктний) ризик аварій, від величини якого залежить тривалість експлуатації (ресурс) споруди. Крім техногенних факторів (вибухи, пожежі, транспортні аварії, падіння кранів, локальні перевантаження конструкцій, помилки проєктантів, недбалість будівельників та ін.), існують також і природні фактори (сейсміка, виникнення карстових провалів в основах будівель, зсуви, урагани і т. д.), через вплив яких можливе виникнення часткової або повної руйнації будівлі.

Зношення та пошкодження несучих конструкцій чи їх зв'язків і, як наслідок, зміна міцності, жорсткості елементів розрахункових схем призводять до зниження конструктивної безпеки споруди. При найгіршому поєднанні негативних обставин вони призводять до раптової відмови та прогресуючого обвалення.

В теперішній час в Україні вирішенню даної проблеми стало приділятися все більше уваги. Але головна частина наукових публікацій носять постановочний (представницький) характер.

Також відомо, що врахування та дотримання всіх вимог нормативних документів не забезпечує необхідний рівень надійності будівлі. Норми встановлюють лише мінімальний рівень безпечної експлуатації та довговічності конструкцій, використовуючи комплекс коефіцієнтів, що до теперішнього часу залишаються емпіричними. Фактично ці коефіцієнти забезпечують на стадії проектування конструкцій їх експлуатаційний ресурс.

Настання аварійного стану будівлі чи споруди передбачає наявність зовнішньої причини техногенного (вибуху, пожежі, терористичного акту тощо) або природно-кліматичного характеру (землетрусу, урагану, цунамі, зсуву, селі тощо). Зовнішні причини при невігідному сполученні з внутрішніми причинами (дефекти проектування і будівництва, деградації або не якісних будівельних матеріалів і т.д.) призводить до обвалення несучих конструкцій будівель і споруд. Діючі в даний час норми не передбачають «захист» у вигляді відповідних коефіцієнтів запасу і надійності, а від факторів ризику, пов'язаних з комбінованими аварійними впливами такого «захисту» не передбачено. Однак, останнім часом значно зросла кількість комбінованих аварійних впливів з усе більш важкими соціальними й економічними наслідками. Тому всебічна оцінка дії аварійних навантажень на будівельні конструкції є вкрай необхідною умовою для вибору оптимальних рішень щодо забезпечення «живучості» будівель і споруд.

Відсутність обґрунтованої методики розрахунку окремих елементів і систем, що піддаються комбінованим аварійним впливам, часом призводять до необґрунтовано завищеним запасам міцності і, як наслідок, до істотної перевитрати матеріалів, але і зневага таким розрахунком часто призводить до тяжких соціальних наслідків і великого матеріального збитку. Проєктні розробки, що враховують комбіновані навантаження і ймовірність їх виникнення, дозволяють підвищити «живучість» будівель при аварійних впливах.

Останнім часом проблема ризику набула дуже серйозного значення і до теперішнього часу привертає все зростаючу увагу фахівців різних областей знань. Це поняття настільки притаманне як безпеці, так і надійності, що терміни «надійність», «небезпека» і «ризик» часто суміщають.

Основною метою аналізу надійності і пов'язаною з нею безпекою є зменшення відмов (в першу чергу травмонебезпечних) і пов'язаних з ними людських жертв, економічних втрат та порушень у навколишньому середовищі.

Найбільш поширеним методом, що отримав широке вживання в різних галузях, є аналіз за допомогою дерева відмов. Даний аналіз чітко орієнтований на відшукання відмов і при цьому виявляє такі аспекти системи, які мають важливе значення для даних відмов. Одночасно забезпечується графічний, наочний матеріал. Наочність дає фахівцеві можливість глибоко проникнути в процес роботи системи і в той же час дозволяє зосередитися на окремих конкретних її відмовах.

Головна перевага дерева відмов в порівнянні з іншими методами полягає в тому, що аналіз обмежується виявленням лише тих елементів системи і подій, які приводять до даної конкретної відмови системи. У той же час побудова дерева відмов є певним видом мистецтва в науці, оскільки немає аналітиків, які б склали два ідентичні дерева відмов.

Запропонована монографія носить оглядовий характер. В монографії ставляться питання та задачі, пов'язані з виникненням аварійних ситуацій у зв'язку з впливами різного характеру, як природного, так і техногенного. У книзі представлений аналіз особливостей проектування висотних будівель і споруд з точки зору стійкості до прогресуючого обвалення у випадках сейсміки, пожеж і таке інше. Також узагальнюються методи забезпечення живучості об'єктів будівництва в аварійних ситуаціях. Приведені деякі приклади технології проектування на основі застосування сучасних програмних комплексів з урахуванням виникнення раптових ушкоджень конструктивних елементів. Надано приклади моделювання прогресуючого обвалення, в тому числі при проектуванні реальних будівель. Розглядаються приклади впливу метрополітену на споруджувані і існуючі довколишні будівлі. Певну увагу приділено підходам до моделювання динамічних впливів, в тому числі сейсмічних.

Монографія складається з 11 розділів і побудована таким чином. У першому розділі розглядаються особливості проектування багатоповерхових і висотних будівель, наводяться приклади цікавих висотних будівель світу. Також дана інформація про використання вітчизняного програмного комплексу «Сапфір» при проектуванні багатоповерхових і висотних будівель. Наведено огляд нормативних вимог щодо забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів.

Другий розділ присвячений аваріям будинків і споруд: явища прогресуючого обвалення будинків і споруд, забезпечення стійкості висотних будівель, основним причинам аварії, ознаки аварійного стану будівель і споруд. Крім того, приділено увагу протипожежному захисту будівельних об'єктів.

Третій розділ включає опис явища живучості конструкцій, будівель та споруд, а також висотних будівель в аварійних ситуаціях. Описує методи забезпечення живучості та розглядає забезпечення живучості як фактор зниження затрат в умовах аварійної ситуації.

Четвертий розділ присвячений надійності конструкцій будинків та споруд та методам підвищення надійності та довговічності висотних споруд з металевим каркасом, засобам досягнення необхідного рівня надійності на етапах проектування та підтримання встановленого рівня на етапі експлуатації споруди.

У п'ятому розділі розглядається основні види ризиків, методи оцінки ризику на потенційно небезпечних об'єктах в умовах невизначеності та методика розрахунку фактичного ризику аварії об'єкта.

В шостому розділі розглядається тема безпеки будівель та споруд, проблеми моніторингу інженерної безпеки та основні принципи її забезпечення.

В сьомому розділі описується структурно-логічний аналіз взаємозв'язку між категоріями технічних станів будівельних конструкцій. Виконаний аналіз умов забезпечення ефективної експлуатації будівельних конструкцій. Наголошено на необхідності та засобах визначення категорійності технічного стану будівельних конструкцій.

У восьмому розділі приведена деяка методика проведення чисельного експерименту з приводу виникнення аварійної ситуації і визначення ризику аварії.

Дев'ятий розділ присвячено методам протидії та захисту будівель та споруд від прогресуючого обвалення.

Десятий розділ включає широкий спектр методів розрахунку будівель з прогресуючого обвалення, огляд систем автоматизованого проектування, що застосовуються при моделюванні та розрахунку на прогресуюче обвалення.

В одинадцятому розділі описані деякі підходи до створення комп'ютерних моделей при проектуванні будівель з врахуванням прогресуючого обвалення. Описано деякі особливості, що виникають при створенні комп'ютерних моделей та розрахункових схем будівель. Вирішено ряд тестових задач і проведено чисельні експерименти на прикладі реальних будівель.

На закінчення хочеться відзначити, що, в цілому, книга спрямована на структурування існуючих підходів до вирішення задач стійкості будівель до прогресуючого обвалення, що виправдано тенденцією забезпечення безпеки будівельних об'єктів для людей і навколишнього середовища. Забезпечення безаварійної експлуатації споруджуваних і існуючих будівель передбачає вміння прогнозувати їх поведінку при виникненні аварійної ситуації (часткова втрата несучої здатності, пожежа, землетрус і т. ін.).

Монографія складена авторським колективом Національного авіаційного університету: В. М. Першаков д.т.н., проф. (розділи: вступ, 1,2, 3, 5, 7, 9, 10); М. С. Барабаш, д.т.н., проф. кафедри КТБ (розділи: вступ, 1, 8, 11, післямова); А. О. Белятинський д.т.н., проф. (розділи: вступ, 2, 3, 6); К. М. Лисницька  
магістр (розділи:  
1, 4, 5, 7, 9, 10).

Автори вважають своїм обов'язком висловити велику подяку рецензентам: д.т.н., проф. А. Я. Барашикову, д.т.н., проф. О. С. Городецькому, д.т.н., проф. А. І. Білеушу, д.т.н., проф. О. В. Шимановському за допомогу, цінні поради та зауваження при підготовці розділів монографії.