

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

Кваліфікаційна наукова праця на
правах рукопису

КЛОЧКО ЛІНА АНДРІЇВНА

УДК 624.042:69.059.28(043.3)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПРОГНОЗУВАННЯ ІМОВІРНИХ МЕХАНІЗМІВ
РУЙНУВАННЯ БУДІВЕЛЬ**

192 – Будівництво та цивільна інженерія

19 – Архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Л.А. Клочко
(підпис)

Науковий керівник

Пічугін Сергій Федорович
доктор технічних наук, професор

Полтава 2022

АНОТАЦІЯ

Клочко Л.А. Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (19 «Архітектура і будівництво»). – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». – Полтава, 2022.

Основний зміст дисертаційної роботи

В дисертаційній роботі розроблений та реалізований алгоритм моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди для виконання інженерами-проектувальниками на базі об'ємної моделі каркасу на етапі розроблення проектної документації. Основою для створення алгоритму була зібрана та опрацьована статистична інформація щодо аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр.

На сучасному етапі будівельної справи, в результаті виникнення широкого спектру конструктивних підходів, використання різних типів матеріалів та впровадження інженерно-архітектурних новітніх рішень, питання безвідмовності конструкцій є першочерговим. Складність поставлених завдань найчастіше полягає в унікальності об'єктів будівництва та в їх високому рівні відповідальності. Із іншого боку, вже існуючі конструктивні моделі проходять (або не проходять) перевірку часом, випробуються на стійкість до прогресуючого руйнування. Все вище наведене ініціює детальні дослідження питань виникнення можливих аварій будівель та споруд.

Необхідність розвитку напрямку у проектуванні, пов'язаному із дослідженням стійкості каркасу будівлі або споруди до прогресуючого руйнування, із метою зменшення ризику виникнення відмов на усіх етапах роботи несучих конструкцій каркасу будівельного об'єкту розкриває актуальність даного питання.

Метою дослідження було створення алгоритму моделювання механізму ймовірного виникнення аварії на будівельному об'єкті різного типу призначення з

метою забезпечення його надійності та безвідмовності.

У першому розділі дисертаційної роботи висвітлені загальні відомості про аварії в будівництві та прогнозування сценарію аварії. Розглянуто стан питання на сьогодні; історичний досвід аварій будівель та споруд; поняття аварії та статистичної обробки даних при них; методи оцінки ризику та прогнозування сценарію аварії будівельного об'єкта.

Другий розділ присвячений систематизації аварій у будівництві, приведені основні положення роботи на основі досліджень інформації аварій будівель за минуле століття. Визначені основні етапи обробки даних статистики аварій будівель та споруд. Проведена обробка інформації щодо аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. Зібраний матеріал опрацьований та структурований у вигляді таблиць за класифікацією. При проведенні статистичного збору інформації об'єкти групувалися за стадіями роботи конструкції, за причиною аварії, за типом об'єкту, за зруйнованими конструктивними елементами (несуча стіна, колона, фундамент, перекриття, покриття, інші) та за факторами впливу на конструкцію.

Зібраний матеріал нараховує 283 випадки руйнувань будівель та споруд за період 2000-2022 рр. Представлені аварії під час будівництва та введення об'єкта в експлуатацію в обсязі 106 інцидентів; під час експлуатації – 109; реконструкції – 26 випадків; аварії внаслідок великого віку об'єкта – 42 аварії; аварії без встановлених причин; аварії, спричинені природними факторами; розглянуті аварії споруд підвищеної небезпеки, а саме резервуари.

У третьому розділі представлена класифікація аварій у будівництві за імовірністю їх виникнення. Проведений аналіз зібраного статистичного матеріалу аварій будівель та споруд за 2000-2023 рр. Результати аналізу представлені у вигляді графіків та відсоткових діаграм. Аналіз показав що найвищий відсоток виникнення аварій припадає на етап будівництва та введення в експлуатацію (54%) для житлових багатоповерхових будівель (55%), що спричинено здебільшого недотриманням норм при будівництві (50%) (порушенням правил техніки безпеки, помилками проектувальників, веденням незаконного будівництва та використання неякісних матеріалів).

Аналіз будівель та споруд дав змогу виділити найбільш розповсюджені руйнування будівель та споруд. До них належать недотримання норм під час будівництва 39% (а саме помилки будівельників 46%, незаконне будівництво 17%, використання невідповідного матеріалу або його економія 23% та недотримання техніки безпеки проведення будівельно-монтажних робіт 14%), помилки проектувальників 7%, некоректна експлуатація 28%, некоректна реконструкція та/або демонтаж 11% та аварії внаслідок високо віку об'єкта (недотримання терміну експлуатації, несвоєчасне проведення експертизи та реконструкції) 13%.

Акцентовано увагу на наступній інформації, що була отримана в ході дослідження:

- прогресуюче руйнування в більшості випадків виникало для житлових багатоповерхових будівель (загалом 51% руйнувань за всіма типами будівель). Хоча нормативні документи із питань прогресуючого руйнування концентрують найбільшу увагу на будівлях громадського призначення, їх відсоток також досить значний – 24%, достатня увага для житлових будівель досі не привертається, що, виходячи із проведеного дослідження, потребує підвищеної уваги;

- аварії в результаті виходу несучих колон із ладу та втрати ними несучої здатності складають тільки 1% від загальних аварій;

- аварії, що спричинили повне раптове обвалення будівлі в результаті дії багатокомпонентного руйнування (одночасне руйнування декількох несучих конструкцій різного типу із лавиноподібним стрімким руйнуванням всього каркасу будівлі, що може визначатися як прогресуюче руйнування) складають 22% від загальної кількості аварій;

- аварії спричинені втратою несучої здатності перекриття будівлі складають 11% відсотків від загальної кількості проаналізованих аварій.

У четвертому розділі представлений алгоритм моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди. Визначені основні етапи проведення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі, які включають в себе: визначення типу будівлі, визначення послідовності моделювання можливого

виникнення аварії на будівельному об'єкті, аналіз та висновки по деформованій моделі каркасу.

На підставі основних положень розрахунків економічних та неекономічних наслідків аварій в будівництві, був розроблений алгоритм процесу розрахунків економічних та неекономічних наслідків.

Основні характеристики алгоритму наступні:

- виконується на основі об'ємної моделі каркасу будівлі;
- сценарії аварій досліджуються в залежності від класу відповідальності будівлі та її типу (рівні значущості);
- аналіз проведеного моделювання проводиться на можливість будівлі протистояти прогресуючому руйнуванню;
- враховуються економічні та неекономічні наслідки сценарію руйнування;
- якщо у ході моделювання виникають лавиноподібні руйнування, представлений перелік рекомендацій, щодо усунення можливості прогресуючого руйнування каркасу.

Надані рекомендації використання алгоритму, із метою попередження прогресуючого руйнування у результаті виникнення лавиноподібних руйнувань, які включають в себе проведення обліку локальних руйнувань, використання пластично-деформованих матеріалів та конструкцій у проектуванні, підвищення рівня статичної невизначеності системи, забезпечення стійкості до бічних навантажень для горизонтальних елементів та забезпечення мінімальним ступенем безперервності та горизонтальним та вертикальним з'єднанням між собою для всіх конструктивних елементів.

П'ятий розділ дисертаційного дослідження присвячений реалізації розробленого алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на прикладі реального будівельного об'єкта.

У ході реалізації створеного алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, а саме, промислової будівлі, було виконано 9 сценаріїв руйнування конструкцій із різних причин.

Шість сценаріїв аварій змодельовано для першого рівня значущості для

промислової будівлі, а саме:

- можливе виникнення аварії на етапі будівництва та введення в експлуатацію (2 сценарію): перевірка на розрахункові помилки (конструкції покриття) та дослідження роботи каркаса в умовах можливого порушення норм будівництва та відрогідності відхилення від проекту;

- можливе виникнення аварії на етапі експлуатації (4 сценарію): моделювання руйнування несучих конструкцій каркасу у умовах понаднормових вібраційних навантажень на конструкції перекриття, моделювання імовірності виникнення вибуху в будівлі, не проведення своєчасного ремонту (або виконання некоректної реконструкції) та сценарій проведення неправильного демонтажу конструкцій каркасу.

Три сценарію аварій змодельовано для другого рівня значущості для промислової будівлі, а саме:

- можливе виникнення аварії на етапі будівництва та введення в експлуатацію (2 сценарію): перевірка на розрахункові помилки (несучі конструкції каркасу) та використання невідповідного матеріалу.

- можливе виникнення аварії на етапі експлуатації (1 сценарій): руйнування несучих конструкцій каркасу у умовах понаднормових навантажень на конструкції перекриття верхніх прольотів.

Проведене моделювання зазначених сценаріїв руйнування на реальній будівлі промислового призначення, досліджено напружено-деформовану модель каркасу, проведений аналіз отриманих даних підходом до розрахунку Demand Capacity Ratio (DCR) із порівнянням значень з пороговими для виявлення руйнування конструкції.

Проведений розрахунок на економічні та неекономічні наслідки, що у свою чергу дало змогу встановити рівень відповідальності будівлі та можливі збитки у результаті можливого виникнення руйнування.

Відповідно поставленим задачам дослідження було створено статистику аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр., запропоновано класифікацію за імовірністю їх виникнення, проаналізовані та застосовані методи розрахунку

економічних та неекономічних наслідків, проведено аналіз аварій будівель та споруд, на базі даного аналізу розроблений алгоритм моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди, який буд реалізований на прикладі промислової будівлі.

Результати отримані автором в дисертаційній роботі за рахунок високої актуальності у використанні впроваджені в практичне проектування та навчальний процес.

Проведений перший досвід практичного застосування алгоритму показав його перспективність та можливість використання як інструменту забезпечення надійності та безаварійності будівель та споруд.

Ключові слова: аварія, алгоритм моделювання аварії, аварії на етапі будівництва, аварії на етапі реконструкції, аварії на етапі експлуатації, безвідмовність, вилучення елемента каркасу, економічні наслідки, живучість, імовірність аварії, класифікація аварій, неекономічні наслідки, надійність, прогресуюче руйнування, ризики в будівництві, руйнування, резервуари, рівень відповідальності будівлі, стійкість, сценарій аварії, споруди.

ABSTRACT

Klochko Lina Forecasting of probable mechanisms of buildings destruction. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The thesis on conferment of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 192 - Construction and civil engineering (19 “Architecture and construction”). National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic". –Poltava, 2022.

The main content of the thesis.

In the dissertation work, an algorithm for modelling the possible building or construction accident occurrence was developed and implemented for accomplishment by design engineers with using a three-dimensional frame model at the stage of design documentation development. Collected and processed statistical information on building and construction accidents for 2000-2022 is the main basis for creating the algorithm.

At the current stage of the construction industry, there are a wide range of constructive approaches with a various type of used materials and latest engineering and

architectural solutions implementation. Obviously, the question of the structure's reliability is in a primary importance. The complexity of the tasks most often based in the uniqueness of the construction sites and their high level of responsibility. On the other hand, already existing structural models pass (or do not pass) the test of time, and are tested for resistance to progressive destruction. All of the above initiates detailed research into possible building and construction accidents.

The need to develop a direction in design related to the study of the building or structure frame resistance to progressive destruction, in order to reduce the risk of failures at all work stages of the load-bearing frame structures, reveals this issue relevance.

The aim of the study was to create an algorithm for modeling the mechanism of the probable accident occurrence at a construction object in order to ensure its reliability and failure-free operation.

The first chapter of the thesis presents general information about accidents in construction and forecasting the accident scenario. There are considered the current state of the issue; historical experience of building and construction accidents; the concept of accidents and statistical data processing in them; methods of risk assessment and forecasting the accident scenario of a construction facility.

The second chapter is devoted to the systematization of accidents in construction, the main provisions of the work based on the research of information on building accidents for the past century are presented. The main stages of data processing of buildings and structures accident statistics are defined. The processing of information on buildings and structures accidents for 2000-2022 was carried out. The collected material was processed and structured in the form of tables according to classification. During the statistical information collection, the objects were grouped by the construction stages, by the cause of the accident, by the type of object, by the collapsed structural elements (bearing wall, column, foundation, overlapping, roof, others) and by the factors affecting the structure.

The collected material includes 283 cases of buildings and structures destruction for the period 2000-2022 years. Presented accidents during the construction and

acceptance in operation in the amount of 106 incidents; during operation – 109; reconstruction – 26 cases; accidents due to the big age of the facility – 42 accidents; accidents without established reasons; accidents caused by natural factors; considered accidents of high danger structures, namely tanks.

The third chapter presents the classification of accidents in construction according to the probability of their occurrence. The analysis of the collected statistical material of buildings and structures accidents for 2000-2023 years was carried out. The results of the analysis are presented in the form of graphs and percentage diagrams. The analysis showed that the highest percentage of accidents occurs at the stage of construction and acceptance in operation (54%) for residential multistory buildings (55%), which is mostly caused by non-compliance with construction rules (50%) (violation of safety rules, designers' errors, conducting illegal construction and use of low-quality materials).

The buildings and structures analysis made it possible to identify the most widespread buildings and structures destruction. These include non-compliance with the norms during construction 39% (namely, errors of builders 46%, illegal construction 17%, use of inappropriate material or its saving 23% and non-observance of safety techniques for construction and installation work 14%), errors of designers 7%, incorrect operation 28%, incorrect reconstruction and/or dismantling 11% and accidents due to the big building age (non-observance of the period of operation, untimely examination and reconstruction) 13%.

Attention is focused on the following information obtained during the research:

- progressive destruction in most cases occurred for residential multistory buildings (in total, 51% of destruction for all buildings types). Although regulatory documents on progressive destruction mainly focus on public buildings, their percentage is also quite significant - 24%, residential buildings still do not receive enough attention, which, based on the conducted research, needs to be increased;

- accidents as a result of load-bearing columns failure and their loss of load-bearing capacity make up only 1% of total accidents;

- accidents that caused the complete sudden collapse of the building as a result of

multi-component destruction (simultaneous several load-bearing structures destruction of various types with an avalanche-like rapid the entire building frame destruction, which can be defined as progressive destruction) make up 22% of the total accidents number;

- accidents caused by the of the load-bearing capacity loss of the building overlapping account for 11% of the total analyzed accidents number.

The fourth chapter presents an algorithm for modeling the possible occurrence of a building or structure accident. The main stages of carrying out the algorithm for modeling the possible occurrence of a building accident are determined, which include determining: the building type, the sequence of modeling the possible accident occurrence an at the construction site, analysis and conclusions based on the deformed frame model.

Based on the main provisions of economic and non-economic consequences calculations of accidents in construction, an algorithm of the economic and non-economic consequences calculations was developed.

The main characteristics of the algorithm are as follows:

- performed on the basis of a three-dimensional building frame model;
- accident scenarios are investigated depending on the liability class of the building and its type (significance levels);
- analysis of the conducted modeling is carried out on the ability of the building to resist progressive destruction;
- economic and non-economic consequences of the destruction scenario are taken into account;
- if avalanche-like destruction occurs during modeling, a list of recommendations is presented to eliminate the possibility of progressive destruction of the frame.

Recommendations for the algorithm implementation are provided, with the aim of preventing progressive destruction as a result of avalanche-like destruction, which include accounting for local destruction, the use of plastically deformed materials and structures in design, increasing the level of static uncertainty of the system, ensuring resistance to lateral loads for horizontal elements and providing a minimum degree of

continuity and horizontal and vertical connection between each other for all structural elements.

The fifth chapter of the thesis is devoted to the implementation of the developed algorithm for modeling the possible occurrence of an accident on the example of a real construction object.

During the implementation of the created algorithm for modeling the possible occurrence of an accident at a construction site, namely, an industrial building, 9 scenarios of the structures destruction in various cases were performed.

Six accident scenarios are modeled for the first level of significance for an industrial building, namely:

- possible occurrence of an accident at the stage of construction and acceptance in operation (2 scenarios): checking for calculation errors (roof structures) and investigating the operation of the frame in conditions of possible violation of construction norms and the possibility of deviation from the project;

- possible occurrence of an accident at the operation stage (4 scenarios): simulation of the destruction of the load-bearing frame structures under conditions of excessive vibration loads on the floor structure, simulation of the probability of an explosion in the building, failure to carry out timely repairs (or incorrect reconstruction) and the scenario of improper frame structures dismantling.

Three accident scenarios are simulated for the second level of significance for an industrial building, namely:

- possible occurrence of an accident at the stage of construction and acceptance in operation (2 scenarios): check for calculation errors (supporting frame structures) and use of inappropriate material.

- possible occurrence of an accident at the operation stage (1 scenario): destruction of the load-bearing frame structures under conditions of overtime loads on the upper spans' structures.

Simulation of the specified destruction scenarios on a real industrial building was carried out, the stress-strain model of the frame was studied, the analysis of the obtained data was carried out using the Demand Capacity Ratio (DCR) with a values comparison

with the threshold values for detecting the structure destruction.

The calculation of economic and non-economic consequences was carried out, which in turn made it possible to establish the level of building responsibility and possible damages as a destruction result.

In accordance with the research objectives, building and construction accidents statistics for 2000-2022 years were created, a classification based on the probability of their occurrence was proposed, the method of calculating economic and non-economic consequences was analysed and applied, an analysis of building and construction accidents was carried out, based on this analysis, an algorithm for modelling possible occurrence of a building or construction accident, which would be implemented on the example of an industrial building.

The results obtained by the author in this thesis due to their high relevance in use are implemented in practical design and the educational process.

The first experience of the practical algorithm application showed its perspective and the possibility of using it as a tool for ensuring the reliability and safety of buildings and structures in engineering.

Key words: accident scenario, accident, progressive destruction, accident classification, accident probability, accident modeling algorithm, accidents at the construction stage, accidents at the reconstruction stage, accidents at the operation stage, destruction, economic consequences, non-economic consequences, reliability, risks in construction, removal of the frame element, stability, survivability, structures, tanks, the level of building responsibility.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧА ЗАТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз

1. Pichugin S.F., Klochko L.A. Forecasting the possible accident scenario on the example of Self-framing metal buildings *In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 331–342. DOI:10.1007/978-3-030-85043-2_31* (SCOPUS, закордоне видання). *(Особистий*

внесок – У ході реалізації створеного алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, а саме, промислової будівлі, було виконано 9 сценаріїв руйнування конструкцій із різних причин).

2. Pichugin S.F., Klochko L.A. Building Accident Causes at a Stage of Construction and Acceptance in Operation. *International Journal of Engineering & Technology*. Vol 7. No 3.2. 2018. P. 311–315. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14426. (SCOPUS, закордоне видання). (Особистий внесок – проведена класифікація аварій за типом будівлі, за причиною аварії та за стадією роботи конструкції. Зібрано інформацію щодо аварій будівель та споруд на етапі будівництва та введення в експлуатацію, в обсязі 106 інцидентів. Приклади аварій здебільшого призвели до значних економічних втрат та десятків загиблих та поранених).

3. Pichugin S.F., Klochko L.A. Accidents analysis of steel vertical tanks. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering*. vol 73. Springer, Cham. P. 193-204. doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_21. (SCOPUS, закордоне видання). (Особистий внесок – проведена класифікація аварій за типом будівлі, за причиною аварії та за стадією роботи конструкції. Зібрано інформацію щодо аварій будівель та споруд на етапі будівництва та введення в експлуатацію, в обсязі 106 інцидентів. Приклади аварій здебільшого призвели до значних економічних втрат та десятків загиблих та поранених).

Публікації у наукових фахових виданнях України

4. Pichugin S.F., Klochko L.A. Особливості аварій у будівництві. *Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2019. Полтава: ПНТУ. Т. 1 (52). С. 91-101. doi:https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1681. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – проведено аналіз існуючої статистики в будівництві).

5. Pichugin S.F., Klochko L.A., Dmytrenko A.O., Dmytrenko T.A. Algorithm for modeling possible failures at the construction site. *Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2021. 2(57). С. 14-19. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – розроблено алгоритм моделювання можливого

виникнення аварії будівлі для використання інженерами-проектувальниками на етапі проектної документації). <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2578>.

6. Pichugin S.F., Klochko L.A. Structural system collapse risk limitation strategy (Стратегія обмеження ризику обвалення конструктивної системи). *Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2020. Полтава: НУПП. Т. 1 (54). С. 19-25. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.54.2265>. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – Визначені основні етапи проведення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі, які включають в себе: визначення типу будівлі, визначення послідовності моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, аналіз та висновки по деформованій моделі каркасу).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Аналіз аварій в будівництві. *Вісник ОДАБА*. 2016. Одеса. С. 331-338.

8. Патент Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з трубобетонною колоною. Пат. 98330. № и 2014 11959; заявл. 05.11.14. опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8. 4 с.

9. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Причини аварій будівель на етапі зведення та прийняття в експлуатацію. *Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація. Зб. наук. статей*. 2016. Вип. 12. Полтава: ПолтНТУ. С. 194-203.

10. Pichugin S.F., Klochko L.A. Modern problems of reliability in construction : manual for students of specialty 192 "Construction and civil engineering". 2021. Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic". 147 p.

11. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Повчальний досвід аварій будівель. *Тези доповідей 67-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*. 2015. Том 2. Полтава: ПолтНТУ. С. 171-172.

12. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Характеристика аварій в будівництві. *Матеріали всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів*

«Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій». 2015. Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка. С. 256-260.

13. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Економічні й неекономічні наслідки аварій будівельних об'єктів. *Тези доповідей 68-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*. 2016. Полтава: ПолтНТУ. С. 196-197.

14. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Аналіз аварій будівельних об'єктів. *Тези доповідей 69-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка*. 2017. Полтава: ПолтНТУ. С. 232-234.

15. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту. *Збірник наукових праць X Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки», 6 – 8 грудня 2017 р.* Полтава: ПолтНТУ. С. 315-322.

16. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. The reasons of buildings accidents at a stage of construction and acceptance in operation. *Збірник наукових праць за матеріалами I міжнародної азербайджансько-української конференції «Building innovations – 2018»* 2018. Полтава: ПолтНТУ. С. 86-88.
<http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/4614>.

17. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту. *II Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі»*. 2018. Київ. С. 96-99 <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/4613>.

18. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Особливості аварій в будівництві. *Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. тез*. 2018. Полтава: ПолтНТУ. Вип. 13. С. 27-30.

19. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Питання прогресуючого руйнування будівель і споруд. *Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської*

науки : зб. наук. пр. за матеріалами XI Міжнар. наук.-практ. конф. 20 – 21 груд. 2018 р. Полтава: ПолтНТУ. С. 213–216.

20. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Передумови створення статистики аварій будівельних об'єктів. *Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.)*. Полтава: ПолтНТУ. Т. 1. С. 404-405.

21. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Причини та наслідки аварій сталевих вертикальних резервуарів. *Building Innovations – 2019: зб. наук. пр. за матеріалами II Міжнар. укр.-азерб. конф.*, 23 – 24 трав. 2019 р. Полтава: ПолтНТУ. С. 174-175.

22. Pichugin S.F., Klochko L.A. Accidents analysis of steel vertical tanks. *Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі : тези доп. III Міжнар наук.-практ. конф.*, 24-25 верес. 2019 р. К. : КНУБА. С. 90-93.

23. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів. *Тези 72-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 15 травня 2020 р.)*. Полтава : НУПП. Т. 1. С. 489-491.

24. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Статистическая обработка классификации аварий в строительстве за этапом эксплуатации строительного объекта. *The IV th International scientific and practical conference «Integration of scientific bases into practice» (October 12-16, 2020)*. Stockholm, Sweden. P. 27-29.

25. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів. *Building innovations – 2020 : зб. наук. пр. за матеріалами III Міжнар. Азерб.-укр. Наук.-практ. конф. (1 – 2 черв. 2020 р.)*. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка. С. 159–160.

26. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Класифікація аварій будівельних об'єктів різного призначення. *Тези Міжнародної науково-практичної конференція «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі»*. 2020. Харків. С. 18-19.

27. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Моделювання можливого виникнення аварії

будівельного об'єкту. *Збірник наукових праць IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2021», 20 – 21 травня 2021 року*. Полтава: Національного університету «Полтавська політехніка». С. 159-161.

28. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Класифікація аварій будівельних об'єктів, що експлуатуються. *Тези 73-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.)*. Полтава : НУПП. Т. 1. С. 134-135.

29. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Статистичний аналіз аварій у будівництві. *Тези IV Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд»*. 2021. Одеса. С. 138-140.

30. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Забезпечення надійності сталевих резервуарів – запорука їх екологічної безпеки. *Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (2-3 грудня 2021 року)*. 2021. Полтава: НУПП, ПП «Астроя». С. 262-263.

31. Pichugin S.F., Klochko L.A. Statistical analysis of accidents in construction. *Збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи»*. 09 грудня 2021 року. Полтава: Полтавська політехніка. С. 331-333.

32. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Алгоритм моделювання можливого виникнення аварії як частина проектної документації будівельного об'єкта. *Тези 74-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 26 квітня – 19 травня 2022 р.)*. С. 107-109.

33. Pichugin S.F., Klochko L.A. Algorithm for modeling possible failures at the construction site. *Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науково-технічної конференції*. 2022. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. С. 96-98.

ЗМІСТ

ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АВАРІЇ В БУДІВНИЦТВІ. ПРОГНОЗУВАННЯ СЦЕНАРІЮ АВАРІЙ	29
1.1 Сучасний стан дослідження аварій в будівництві.....	29
1.2 Історичний досвід аварій у будівництві	33
1.3 Поняття аварії та статистичної обробки аварій будівель та споруд	38
1.4 Статистика аварій, на прикладі розробок компанії «Міський центр експертиз»	40
1.5 Метод оцінки ризику	41
1.6 Поняття прогресуючого руйнування	44
1.7 Прогнозування сценарію аварії	48
1.8 Класи наслідків (відповідальності) будівель і споруд.....	50
1.9 Оцінка можливих економічних збитків.....	52
1.10 Некономічні наслідки	53
1.11 Висновки по розділу	59
РОЗДІЛ 2 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ АВАРІЙ У БУДІВНИЦТВІ	62
2.1. Проведення систематизації аварій у будівництві.....	62
2.2. Аварії будівель та споруд при будівництві.....	68
2.3. Аварії будівель та споруд потребуючих ремонтних робіт.....	94
2.4. Аварії без встановлених причин та спричинені природними факторами .	99
2.5. Аварії під час експлуатації будівель та при реконструкції будівель та споруд.....	101
2.6. Аварії споруд підвищеної небезпеки. Резервуари	108
2.7. Висновки по розділу	113
РОЗДІЛ 3 КЛАСИФІКАЦІЯ АВАРІЙ У БУДІВНИЦТВІ ЗА ІМОВІРНІСТЮ ЇХ ВИНИКНЕННЯ. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ.....	115
3.1 Передумови створення класифікацій аварій за імовірністю їх виникнення.....	115
3.2 Класифікація аварії за імовірністю їх виникнення	116

	19
3.3 Аналіз аварій	119
3.4 Висновки по розділу	136
РОЗДІЛ 4 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЇ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ	138
4.1. Основні розрахункові положення	138
4.2. Методика виконання моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті.....	141
4.3. Взаємозалежність структури алгоритму від результатів статистичного аналізу бази даних аварій будівель та споруд.....	147
4.4. Опис виконання алгоритму.....	161
4.5. Аналіз деформованої моделі.....	171
4.6. Висновки по розділу	172
РОЗДІЛ 5 РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЇ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ.....	175
5.1. Створення розрахункової схеми будівлі що проектується та розроблення її об'ємної моделі.....	175
5.2. Стратегія виконання алгоритму проведення моделювання та аналізу виникнення можливої аварії на будівельному об'єкті, що проектується	181
5.3. Розрахунок на економічні втрати промислової багатопролітної будівлі	207
5.4. Розрахунок на неекономічні втрати промислової будівлі.....	209
5.5. Рекомендації щодо підсилення найбільш небезпечного несучого елемента каркаса.....	212
5.6. Висновки по розділу	214
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	216
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	218
ДОДАТКИ.....	237
ДОДАТОК А Статистика аварій будівель та споруд за 2000-2022 р.	238
ДОДАТОК Б Схеми розміщення колон, поперечні розрізи будівлі.....	306

ДОДАТОК В Розрахунок економічних та неекономічних наслідки надбудови цивільної будівлі	308
ДОДАТОК Г Список опублікованих наукових праць здобувача за темою дисертації	312
ДОДАТОК Д Довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи..	318
ДОДАТОК Е Патент на корисну модель.....	323

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

GSA (General Services Administration) – Адміністрація загальних служб.

ACI (Interinstitutional agreement procedure) – Процедура міжінституційної угоди.

ТХДД – тетрахлордібензо-р-діоксин.

ЛСТК – Легкі сталеві тонкостінні конструкції.

ПВХ – Полівінілхлорид.

NTP (Notas Técnicas de Prevención) – Технічні примітки щодо профілактики.

ВСТУП

Задачею будь-якого проекту у будівництві є забезпечення надійності об'єкта. На сучасному етапі будівельної справи, в результаті виникнення широкого спектру конструктивних підходів, використання різних типів матеріалів та впровадження інженерно-архітектурних новітніх рішень, питання безвідмовності конструкцій є першочерговим. Складність поставлених завдань найчастіше полягає в унікальності об'єктів будівництва та в їх високому рівні відповідальності. Із іншого боку, вже існуючі конструктивні моделі проходять (або не проходять) перевірку часом, випробуються на стійкість до прогресуючого руйнування. Все вище наведене ініціює детальні дослідження питань виникнення можливих аварій будівель та споруд.

Актуальність теми. Актуальність теми полягає у необхідності розвитку напрямку у проектуванні, пов'язаному із дослідженням стійкості каркасу будівлі або споруди до прогресуючого руйнування, із метою зменшення ризику виникнення відмов на усіх етапах роботи несучих конструкцій каркасу будівельного об'єкту.

Для вирішення даного питання актуальними є наступні задачі:

1. Облік та систематизація аварій будівель та споруд, що відбуваються в Україні та за кордоном, із необхідністю постійного доопрацювання бази з метою збереження її актуальності.

2. Аналіз причин та наслідків аварій, їх класифікація за типом виникнення аварії, за типом її імовірності (прогнозованості), за ступенем тяжкості, рівнем збитків, а також типом будівельного об'єкту.

3. Вивчення та моделювання сценаріїв аварій та механізмів руйнування конструкцій, а також елементів та вузлів їх сполучення.

4. Дослідження причин виникнення та статистичний аналіз накопичення дефектів будівель та споруд, їх класифікація як ініціаторів руйнування. Облік впливу тимчасового фактору на інтенсивність пошкоджень конструкцій та

зміну (погіршення) властивостей будівельних матеріалів.

5. Вивчення реальної (дійсної) роботи каркасу та особливостей умов експлуатації несучих конструкцій на прикладі реальних будівельних об'єктів різного типу та призначення. При цьому доцільно включати суміжну роботу з основами та фундаментами, роботу з технологічним обладнанням, а також з будівлями та спорудами, що знаходяться поблизу об'єкта.

6. Створення технологій та методик для моделювання аварій. Моніторинг рівня руйнування конструкцій та дослідження вірогідності виникнення прогресуючого руйнування.

7. Розробка положень та методик для проведення моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті інженерами проектувальниками на етапі розроблення робочої документації проекту, а саме алгоритму моделювання виникнення аварії на будівельному об'єкті.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботи виконувалися у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» в рамках держбюджетної дослідної теми «Конструктивна і теплова надійність несучих і огорожувальних комплексних конструкцій», керівник – д.т.н., професор Пічугін С.Ф. (державний реєстраційний номер 0115U002417) та «Енергоєфективні конструктивні рішення елементів будівель», керівник – д.т.н., професор Семко О.В. (державний реєстраційний номер 0121U109497).

Робота відповідає напряму наукових досліджень кафедри будівельних конструкцій.

Мета дослідження. Створення алгоритму моделювання механізму ймовірного виникнення аварії на будівельному об'єкті різного типу призначення з метою забезпечення його надійності та безвідмовності.

Об'єкт дослідження. Механізми руйнування будівель та споруд за 2000-2022 рр.

Предмет дослідження. Сценарії аварій будівель та споруд.

Задачі дослідження.

1. Створити статистику аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. із вивченням типу аварії, моментом роботи конструкції на час руйнування та причин їх виникнення. Провести аналіз аварії будівель та споруд, на підставі зібраної статистики та візуалізувати результати за допомогою мап та діаграм.
2. Запропонувати класифікацію аварії за імовірністю їх виникнення.
3. Провести аналіз методик розрахунку економічних та неекономічних наслідків, із використанням у створеному алгоритмі моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті.
4. На основі зібраного та опрацьованого статистичного матеріалу створити алгоритм проведення моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди на етапі проектування, із метою усунення можливості утворення прогресуючого руйнування будівельного об'єкта.
5. Запроектувати будівлю, із метою проведення моделювання можливого виникнення аварії за допомогою створеного алгоритму.
6. Реалізувати створений алгоритм на прикладі реального будівельного об'єкта.

Методи досліджень.

1. Пошуковий метод дослідження аварій у будівництві;
2. Методи систематизації, пояснення та прогнозування для створення та аналізу інформації щодо аварій у будівництві;
3. Теоретичні методи дослідження інформації щодо розрахунків економічних та неекономічних наслідків від аварії будівлі або споруди;
4. Метод скінченних елементів при моделюванні напружено-деформованого стану конструкцій;
5. Метод моделювання, для створення проекту будівель різного типу призначення.
6. Методи теорії надійності будівельних об'єктів.

Наукова новизна.

1. Вперше досліджено аварії будівель і споруд в сьогоденні із опрацюванням статистичного матеріалу. Отримано статистичні дані щодо аварій у будівництві за 2000-2022 рр. [37, 38, 42, 43, 60, 116, 126, 131, 132, 138]
2. Створено класифікацію аварій будівель та споруд за імовірністю їх виникнення [122, 135].
3. Визначено відсоткове співвідношення аварій у будівництві за типом будівлі, за причинами аварій та за стадією роботи конструкції.
4. Створено алгоритм моделювання виникнення можливої аварії будівлі на етапі проектування, який може бути використаний інженерами-проектувальниками із метою забезпечення надійності та безвідмовності будівельного об'єкта [39, 41, 136].
5. Реалізовано даний алгоритм на прикладі промислової будівлі [116], що показало його перспективність та можливість використання як інструменту забезпечення надійності та безаварійності будівель та споруд.

Практичне значення. Результати виконаних експериментально-теоретичних досліджень упроваджені в практику проектування і навчальний процес:

- ТОВ «Проектне бюро «Інтерсталь» при моделюванні сценарію можливого виникнення аварій на логістичних та торгово-розважальних центрах.
- ФОП Сопільняк О.В. при проектуванні для моделювання сценаріїв можливих аварій будівлі громадського призначення із терміном експлуатації більше 50 років під час реконструкції будівлі Полтавської обласної філармонії.
- Результати дисертаційної роботи використовуються в учбовому процесі у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» при читанні навчальних курсів: «Сучасні проблеми

надійності в будівництві» та «Методика граничних станів і нормування навантажень» для магістрів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Аспірантка Ключко Л.А. є також співавтором навчального посібника – Pichugin S.F., Klochko L.A. «Modern problems of reliability in construction». Manual. – Poltava: National University «Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic», 2021. – 147 p. [9, 10, 11, 12, 36].

Алгоритм моделювання можливого виникнення імовірної аварії на будівельному об'єкті може бути використаний на етапі проектування будь-якого інженерного проекту, що регламентується ДБН В.1.2-14:2018 «Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд» [78] та ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)» [84].

Особистий внесок здобувача.

1. Проведено опрацювання та статистичний аналіз аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. із вивченням типу аварії, стадії роботи конструкції на час руйнування та причин виникнення аварій [116, 117, 118, 124].
2. Створено класифікацію аварій будівель та споруд за імовірністю їх виникнення [38, 122, 135].
3. Визначено відсоткове співвідношення аварій у будівництві за створеною класифікацією.
4. Проведено аналіз методик розрахунку економічних та неекономічних наслідків, із використанням у створеному алгоритмі моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті [111, 119, 120, 121, 125].
5. Розроблено алгоритм проведення моделювання та аналізу виникнення можливої аварії на будівельному об'єкті, що проектується [133].
6. Проведене моделювання можливої аварії на запроектованій промисловій будівлі ЗБК каркасу [34, 133].

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74 наукових конференціях професорів, викладачів,

наукових працівників, аспірантів та студентів Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Всеукраїнській інтернет конференції «Проблеми та перспективи сталого розвитку та просторового планування територій» (м. Полтава, 2015), X Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку академічної та університетської науки» (м. Полтава, 2017 р.), I, II, III та IV міжнародній азербайджано-українській конференції «Building innovations» (Полтава, 2018-2021 рр.), XIII науково-технічній конференції «Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація» (Полтава, 2018), I та II міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні методи та проблемно-орієнтовані комплекси для розрахунку конструкцій та їх застосування у проектуванні та навчальному процесі» (м.Київ, 2018-2019 рр.), IV міжнародній науково -практичній конференції «Інтеграція наукових основ у практику» (м.Стокгольм, 2020 р.), XIII-XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна і університетська наука: результати та перспективи» (Полтава, 2020-2021 рр.), міжнародній науково-практичній конференції «Тенденції в будівельній галузі» (м. Харків, 2020 р.), IV міжнародній конференції «Експлуатація та реконструкція будівель та споруд» (м. Одеса, 2021 р.), II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (Полтава, 2021 р.), XIII Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», присвячена 90-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» та пам'яті президента Національної академії наук України, академіка НАН України Бориса Євгеновича Патона (Полтава, 2020), XIV Міжнародній науково-практичній конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи» (Полтава, 2021), XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Комплексні композитні конструкції будівель та споруд в умовах воєнного стану (CSCS-2022)» (Полтава, 2022).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи викладені в 33 публікаціях, із них 3 у науково метричній базі SCOPUS, 3 у фахових виданнях, рекомендованих ВАК України, 3 в закордонних виданнях.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, шістьох додатків. Роботу викладено на 321 сторінках машинописного тексту, з яких 189 сторінок основного тексту, та містить 75 рисунків, 26 таблиць, 161 найменувань літературних джерел (19 стор.) та 6 додатків (85 стор.).

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АВАРІЇ В БУДІВНИЦТВІ. ПРОГНОЗУВАННЯ СЦЕНАРІЮ АВАРІЙ

1.1 Сучасний стан дослідження аварій в будівництві

Для вирішення поставленого завдання наукової роботи необхідно звернутися до передумов створення алгоритму моделювання аварійної ситуації, а саме до науковців-попередників в цьому питанні.

Ще в 1895 році професором М.Н. Герсевановим була опублікована робота з аналізу аварій споруд [74].

Розуміючи важливість збору даних про аварії, що виникли, їх систематизацію та аналіз, ще за радянських часів науковці почали займатися цим питанням.

Перша спроба систематичного вивчення аварій і пошкоджень була зроблена в 1937 році, коли на підставі розпорядження Главстройпрома НКТП СРСР пропонувалося всім проектним організаціям, будівельним трестам і конторам організувати облік дефектів і аварій. Однак, в той час, завдяки засекречуванню та приховуванню аварій, ці дані не могли бути використані в практичній діяльності [58, 96].

Питанням будівельних аварій присвячені численні публікації, серед яких можна назвати монографії Б.І. Беляєва [64], М.Н. Лащенко [95], М.М. Сахновського [146], А.Н. Шкінева [161] та багатьох інших. А вже починаючи із 1995 року по 2003 роки виходить досить цікава із наукової точки зору даного питання книга у шести томах під редакцією В.А. Котляревського [57], а саме – науковий посібник про аварії та катастрофи, де для свого часу вперше були систематично викладені дані щодо аварій природного і техногенного характеру. Також у даному посібнику була представлена інформація щодо інженерних заходів щодо зниження шкоди від подібних впливів та організації аварійно-відновлювальних робіт в екстремальних умовах.

Слід зазначити, що в ряді випадків спеціалізована література з даної

тематики є досить неповною. У вище перерахованих роботах здебільшого представляються уривчасті факти, які не набули в подальшому ніякої систематизації та цілісності.

Більш того, важливим фактором достовірного та актуального аналізу аварій із їх подальшим алгоритмом моделювання є часовий проміжок виникнення аварій. Наприклад, матеріали Б.І. Беляєва опубліковані за 1968 рік, М.Н. Лащенко та М.М. Сахновського за 1969 рік, більш пізні публікації А.Н. Шкінева за 1984 рік. Безумовно, проведена робота є важливим підґрунтям для проведення подальшого аналізу аварій у будівництві, але представлені матеріали мають застарілі дані.

Мова йде про зміни та модернізації у будівництві, введення в експлуатацію нових типів будівель та споруд, використанні сучасних матеріалів та застосуванні інноваційних конструктивних рішень. Будівництво за останні роки зазнає суттєвих змін і потребує постійного наукового доповнення в нормах та алгоритмах вирішення різнопланових, а часом й унікальних конструктивних питань [112]. Тому більш детальний аналіз публікацій проводився для робіт вчених у 21 столітті.

Досить вичерпний матеріал щодо статистики аварій представлений А.В. Перельмутером у вигляді таблиці причин аварій сталевих конструкцій [113]. А.А. Тавкин представив дослідження на тему причин аварій в будівництві за 1981– 2004 роки [152]. Заслуговують уваги публікації К.І. Єрміна на дану тематику [85, 86].

Вже на початку 2000 років починають з'являтися публікації вчених зі спробами розрахунку можливості виникнення аварії. Таким чином, в роботах В.Д. Райзер [141] пропонує варіант третього граничного стану: ввести, поряд з поняттями несуча здатність і експлуатаційна придатність, поняття - живучість, і визначити ще одну групу граничних станів.

Запропонована третя група граничних станів включає граничні стани, що характеризуються лавиноподібним розвитком відмов, які призводять до повного виходу з ладу елементів системи. Причинами подібного розвитку

можуть бути як катастрофічні впливи – пожежі, вибухи, включаючи атаки терористів, так і грубі помилки при монтажі або експлуатації. Розрахунок за третьою групою граничних станів полягає в забезпеченні несучої здатності будівлі або споруди при виключенні з розрахункової схеми одного або декількох несучих елементів, або виникнення одного або декількох пластичних шарнірів [141].

Розрахунок можливості аварії проводили також і вітчизняні вчені, як С.Ф. Пічугін [123, 129], О.В. Семко, О. П. Воскобойник [148] та інші.

С.Ф. Пічугіну належить вагомий внесок у розвиток загальної методики розрахунку надійності будівельних конструкцій і статично невизначених систем; опис випадкових навантажень та їх сполучень у різній ймовірнісній техніці; розробці будівельних норм проектування та оцінці технічного стану й ресурсу конструкцій, що знаходяться в експлуатації [123, 129].

У роботах О.В. Семка та О.П. Воскобойник досить докладно розглядаються питання сучасного стану проблем керування технічними ризиками у будівництві. Аналогічні питання підіймалися і за кордоном такими вченими як Hathwani J.S. [21], Raskwitz R. [47].

М.Г. Стюарт та Р.Є. Мельчерс розглядали питання ймовірнісної оцінки ризиків інженерної системи [52]. Р.Е. Мелчерс у своїх працях порушував питання аналізу надійності та прогнозування у будівельній галузі.

Також доцільно звернути увагу на праці таких вчених, як P. Ellingwood, R. Smilowitz, D. Dusenberry, D. Duthinh [14], у роботах яких порушувалося питання прогресуючого руйнування будівель.

Яскравим прикладом створення правової бази для розрахунку поступового руйнування є перша редакція набору правил під назвою «Захист будівель та споруд від поступового руйнування. Правила проектування» [150].

Серед причин відмов конструкції, крім випадків перевищення випадкового навантаження, випадкового значення несучої здатності (тобто недостатність коефіцієнту запасу), присутні і багато інших (невивченість

роботи конструкцій, помилки при проектуванні, виготовленні та монтажу, порушення правил експлуатації та інші) [150]. Також в процесі будівництва досить часто недотримуються тих чи інших норм та вимог до проведення будівельних робіт, що в свою чергу може призвести до фатальних помилок, ціною яких можуть стати людські життя.

Особлива увага в питаннях безпеки та надійності приділяється об'єктам підвищеної відповідальності, таким як резервуари. Дослідженням аварій споруд даного типу займалися протягом десятків років, але необхідність вдосконалення статистики аварій та методів обробки даних є і на наш час досить актуальним. Причиною цього слугує перелік аварій, у результаті яких були загиблі та поранені, а компанії несли колосальні економічні збитки.

Тема аналізу причин повного або часткового руйнування резервуарів є актуальною вже досить довгий проміжок часу, причиною цього є велика відповідальність такого типу об'єктів і їхня підвищена небезпечність. Перелік робіт присвячених даному питанню очолюють такі вчені як Х.М. Ханухов [159], П.А. Коновалов, Р.А. Мангушев [93], В.Б. Галеев [73], І.М. Розенштейн [144], А.А. Землянський [88], В.Л. Березин [66], Б.І. Беляєв [65], О.О. Тарасенко [153], О.П. Коновалова [94], Г.П. Афонська [61] та інших. Аналіз таких аварій проводився із наданої інформації з технічної літератури, періодичних видань, особистого досвіду авторів, інтернет джерел і т.д.

Варто особливо відзначити повноту та якість опрацювання матеріалу по аналізу аварій в роботах таких вчених, як Р.А. Мангушева [93], П.А. Коновалова [94], О.О. Тарасенко [153], В.Б. Галеева [73], А.А. Землянського [88], І.М. Розенштейна [144].

Аналіз публікацій з оцінки аварійності будівельних об'єктів показує, що статистика аварій недосконала. Мова йде не тільки про відсутність добре поставленого обліку відмов та аварій, але й про недосконалість методології обробки даних про них [150]. В наш час, не дивлячись на великі можливості

в питаннях гласності та преси, досить важко отримувати об'єктивну інформацію щодо аварій, так як на будівельному ринку йде комерційна боротьба між будівельними компаніями. Як результат, багато аварій свідомо замовчуються, і надалі таким інцидентам не дається розголосу. Також на сучасному етапі розвитку будівництва в Україні постало питання щодо обґрунтування у державних будівельних нормах питання кількості людей, які постійно перебувають на об'єкті і наражаються на небезпеку при аваріях.

Основними цілями проведення аналізу, систематизації та розгляду роботи конструкції при моделюванні аварії є створення алгоритму проведення моделювання можливого виникнення аварії. Дане питання є досить актуальним на даний момент і викликало інтерес у вчених по всьому світу тільки у другій половині 2010 рр, що свідчить про сучасність поставленої проблематики.

З 2015 року й по сьогоднішній день починають активно публікуватися наукові роботи закордоном та в Україні стосовно питань проведення моделювання сценаріїв відмов на будівельному об'єкті. Наприклад, у монографії С.Ф. Пічугіна [129] ведеться мова про дерево відмов статично невизначених систем.

Починають активно з'являтися публікації з приводу аналізу аварій, моделювання можливого виникнення аварії в будівництві, так як неодноразово було приведено, що чисельне моделювання стає одним із найпотужніших інструментів для аналізу обвалення будівель та споруд доповнюючи звичайні лабораторні модельні випробовування та дослідження [55].

1.2 Історичний досвід аварій у будівництві

При проведенні аналізу історичного досвіду аварій будівель та споруд необхідно звернути особливу увагу на причини та типи руйнувань що відбулися в історії будівельної справи, як наприклад аварія Тейського моста.

У 1879 р в Англії обрушився Тейський міст довжиною 3,5 км. Аварія сталася через 19 місяців після початку експлуатації. Основні причини –

неправильний розрахунок вітрового навантаження, недостатня міцність і стійкість високих опор моста на перекидання. Міст мав 20-кратний запас міцності на вертикальне навантаження, але при цьому зовсім не було враховано вітрове навантаження. Проектувальником було перевірене вітрове навантаження з досить заниженим тиском — 47 кг/м^2 . Норми для визначення вітрового тиску в різних країнах відрізнялися: в Англії під час будівництва Тейського моста було взяте навантаження в 3 рази менше, ніж в Німеччині, і в 5 разів менше, ніж в США. Отже, міст був перевірений на тиск вітру 47 кг/м^2 , а в момент катастрофи цей тиск досягав 188 кг/м^2 . Аварія послужила поштовхом для врахування вітрового навантаження під час розрахунку навантажень будівель та споруд [96].

Собор Бове у Франції претендує на те, щоб бути найвищим собором у світі, але ця слава дісталася дивною ціною. Щоб досягти висоти, будівельникам і проектувальникам довелося викласти свої сили на межі, і в результаті будівля постраждала — фактично собор технічно недобудований, навіть якщо він функціонує. Нинішній собор є лише частиною початкового плану. Будівництво фундаменту, розпочате в 1225 році, свідчить про те, що собор мав бути справді величезним, але єдиною частиною, яка була готова для використання, були склепіння хору та центральний неф. Основна частина робіт була закінчена в 1272 році, і служби негайно почалися. У 1284 році частина склепіння хорів обвалилася через перенавантаження, вірогідно від вібраційних вітрових навантажень [3].

У 1891 році в Англії зруйнувався залізничний чавунний міст прольотом 9 м. Причиною аварії стала крихкість будівельного матеріалу чавуну. Після цієї аварії чавун для будівництва мостів більше не застосовували [82, 96].

У 1905 році в Петербурзі обвалився Єгипетський міст, коли по ньому проїжджала кіннота. Обвалення сталося в результаті резонансу, викликаного ритмічним кроком великої маси кінноти. Після цієї аварії стали враховувати можливість виникнення резонансу при проїзді по мосту колон пішоходів або кінноти.

У 1940 році в США зруйнувався висячий міст через річку Теком прольотом 854 м. Обвал стався через 4 місяці після початку експлуатації і тривав протягом 45 хвилин в результаті динамічних коливань мосту, викликаних вітром, який мав швидкість 18,8 м/сек. Ця катастрофа стала повчальним досвідом для інженерів-мостовиків. Незабаром в Америці стали будувати крутильно-жорсткі (що не піддаються коливанням) ферми коробчастої конструкції.

Доцільно також привести приклад лавиноподібного руйнування, яке відбулося 17 липня 1981 року Hyatt Regency у Канзас-Сіті, Міссурі. 114 людей загинуло та ще 200 людей отримали поранення, коли надземний перехід на четвертому поверсі обвалився, впавши на інший перехід двома поверхами нижче [3].

Будучи найвищою будівлею в Бостоні, вежа Джона Хенкока (тепер відома просто як 200 Clarendon Street) була предметом суперечок ще до того, як її побудували. Під час будівництва блакитне відбиваюче скло, яке використовувалося для будівлі, почало падати з різної висоти, що змусило поліцію перекрити територію навколо будівлі. Подальші дослідження в аеродинамічних трубах виявили додаткові проблеми цілісності, такі як скручування під час сильного вітру. Однак справжня проблема полягала в тому, що будівля розширювалась і стискалася через різницю температури всередині та зовні будівлі. Світловідбиваючий матеріал зробив скло жорсткішим, ніж очікувалося, і замість того, щоб поглинати рух, воно передавало його та просто розхитувалося [4].

У Європі ж, після численних дослідів в аеродинамічній трубі, де імітували тиск вітру на модель конструкції, вирішили робити в тілі мостів горизонтальні отвори, щоб усунути причину коливань - завихрення повітря біля перешкоди. В наш час динамічний характер вітрових впливів враховується при проектуванні споруд.

Для розробки в подальшому алгоритму моделювання аварії на будівельному об'єкті, відповідно до поставлених задач дисертаційної роботи

були виділені та проаналізовані наймасштабніші аварії за останні два десятиліття, які призвели не до десятків, а до сотень жертв і тисяч поранених. До них належить обвал торговельного центру «Samroong» в Сеулі (Південна Корея). 9 червня 1995 року обвалилася одна із найбільш великих будівель Південної Кореї – великий супермаркет в Сеулі Samroong. Під обломками споруди загинуло 502 людини, 937 – отримали поранення та важкі каліцтва. За результатами розслідування було виявлено, що будівля, обвал якої тривав лише 20 секунд, обвалилася через ряд причин, основними з яких стали порушення будівельних норм (Рис. 1.1) [145].



Рис. 1.1. Торговельний центр «Samroong» в Сеулі (Південна Корея) до та після катастрофи, 1995 рік

Однією із причин обрушення будівлі стало рішення керівництва центру про розміщення на даху трьох величезних промислових кондиціонерів. В 1993 році їх розмістили на даху на спеціальні піддони, таким чином додавши навантаження на вже ослаблену центральну частину будівлі (Рис. 1.2) [145].

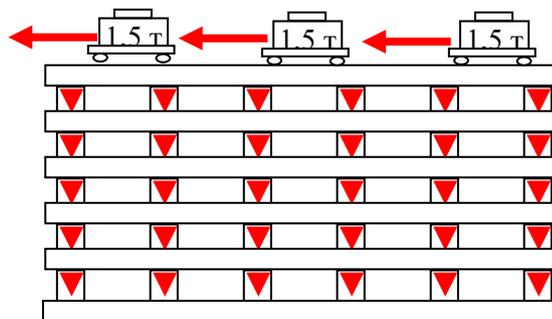


Рис. 1.2. Схема розміщення на даху трьох величезних промислових кондиціонерів

До масштабних аварій у будівництві не можна не віднести руйнування торговельного центру «Махіма» у Ризі (Рис. 1.3), яке сталося ввечері 21 листопада 2013 року у мікрорайоні Золітуде. Приблизно о 17:45 дах і стіни супермаркету деформувалися, численні покупці та працівники опинилися заблокованими всередині. О 18:00 впала одна зі стін центру та дах над касами. Станом на полудень 23 листопада, кількість загиблих досягла 52 осіб: 51 латвієць та один громадянин Вірменії. Латвійська поліція висунула три версії катастрофи: 1) порушення проектування; 2) порушення правил будівництва; 3) зберігання на даху будматеріалів [108].

Рекордна кількість загиблих та поранених за останнє десятиліття зафіксована 24 квітня 2013 році, в місті Савар (Бангладеш). У зруйнованому комплексі містилося відділення банку, торговий центр з безліччю магазинів та п'ять швейних фабрик (Рис. 1.4). На дев'яте травня кількість загиблих становила 953 людини, поранення отримали більше тисячі людей, всього постраждало близько 2370 осіб. 3 травня експерти МВС назвали причиною обвалення будівлі сильні вібрації від потужних електричних генераторів. Чотири гігантських генератори були встановлені в будівлі із порушенням усіх правил, і коли вони знову запрацювали після того, як протягом деякого часу було відключено електропостачання, їхня вібрація разом з вібрацією тисяч машин привела до обвалення будівлі [105].



Рис. 1.1. Руйнування торговельного центру «Махіма» у Ризі, 2013 рік



Рис. 1.2. Аварія комплексу в місті Савар (Бангладеш), 2013 рік

Наймасштабнішою аварією за останні декілька років, під час якої відбувся обвал даху, можна без сумніву вважати руйнування «Трансвааль-парк» - спортивно-розважального комплексу в районі Ясенево (Москва), відкритого в червні 2002 року, та який обвалився 14 лютого 2004 року. Число загиблих складає 28 чоловік. Слідчими органами доведено винність головного конструктора проекту аквапарку Нодара Канчелі [156].

1.3 Поняття аварії та статистичної обробки аварій будівель та споруд

Перш ніж приступити до аналізу аварій у будівництві, слід встановити, чим самим являється сама по собі аварія, давши цьому терміну найбільш точне значення.

Аварія – (від італ. *avaria*, з араб. авар – пошкодження, збитки, пошкодження корабля чи вантажу) це небезпечна подія техногенного характеру, що створює на об'єкті, території або акваторії загрозу для життя і здоров'я людей і призводить до руйнування будівель, споруд, обладнання і транспортних засобів, порушення виробничого або транспортного процесу чи завдає шкоди довкіллю [87].

Розглядаючи аварії будівель та споруд слід надати даному терміну більш вузькоспеціалізоване визначення, а саме:

Повне або часткове раптове обвалення будівлі – це надзвичайна ситуація, що виникає унаслідок помилок, допущених при проектуванні будівлі, відступі від проекту при веденні будівельних робіт, порушенні правил монтажу, при введенні в експлуатацію будівлі або окремих його частин з великими недоробками, при порушенні правил експлуатації будівлі, а також внаслідок природних або техногенних надзвичайних ситуацій [114].

Обваленню часто може сприяти вибух, який є наслідком терористичного акту, неправильної експлуатації побутових газопроводів, необережного поводження з вогнем, зберігання в будівлях легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин.

Раптове обвалення призводить до тривалого виходу будівлі з ладу,

виникненню пожеж, руйнування комунально-енергетичних мереж, утворення завалів, травмування та загибелі людей [2, 28, 49, 53, 101].

На прикладі Індії, можна привести відповідні цифри щодо статистики потерпілих внаслідок будівельних аварій. Дані Національного бюро злочинних доказів Індії (NCRB) вказують на те, що в період з 2001 по 2015 рік внаслідок руйнування різних будівель загинуло 38363 людей. Більшість людей загинули внаслідок обвалення саме житлових будинків. Штат Уттар-Прадеш за цей період зафіксував найбільшу кількість смертей (5690) [1].

Методика збору, обробки та представлення статистичної інформації – це практично самостійний розділ імовірнісних методів розрахунку (наприклад, теорії надійності будівельних елементів та систем). При теоретичному аналізі потрібно визначати якість та кількість інформації, необхідної для практичного використання в розрахунках.

Таким чином, властивості будівельних матеріалів та елементів можливо представити параметричними законами розподілення. Це припущення можливо обґрунтувати тим, що властивості матеріалів та конструкцій в часі змінюються не суттєво та, як правило, мають відповідну тенденцію. Впливи на конструкції слід розцінювати як випадкові часові процеси. В більшості це відноситься до впливів, які мають природне походження (вітер, сніг, сейсмічні хвилі та т.п.), меншою мірою – до впливів, що мають штучні походження (технологічні навантаження, температура, вибухи та т.п.). Наслідки, в загальному випадку, не повинні розцінюватися тільки як випадкові процеси, так як характер їх розвитку може змінюватися під впливом найрізноманітніших факторів: прогресу науки, історичного моменту, народногосподарського, політичного призначення споруди, репутації фірми та т.п. [90, 98].

Із цього далеко не повного переліку причин досить чітко видно їх кількісна невизначеність, яка практично значить про недоцільність використання параметричних законів для опису зовнішніх впливів. Слідуючи із цього, до детального вивчення вказаних причин, доцільно всі зовнішні

впливи представляти у вигляді часових випадкових процесів. У зв'язку із цим виникла необхідність розробки методик збору, обробки та представлення статистичної інформації.

Не можна заперечувати, що представлення випадкових величин тим чи іншим законам в більшості випадків визначається суб'єктивно. Серед суб'єктивних причин, характерних для дослідників-будівельників, можливо виділити наступні: недостатню кваліфікацію в області статистичної обробки результатів дослідження; обмеженість математичного апарату вірогідних методів розрахунку, який би міг потребувати представлення ряду випадкових чисел достатньо конкретними законами розподілення; неповне використання обчислювальної техніки, що призводить до спрощення та зниження якості апроксимації статистичних даних [90, 98].

1.4 Статистика аварій, на прикладі розробок компанії «Міський центр експертиз»

Для створення статистики аварій будівель та споруд важливим кроком є ознайомлення із вже існуючими статистичними даними. Яскравим прикладом такої бази даних є інформація представлена міським центром експертиз [151].

Міський центр експертиз – визнаний консультант №1 в області організації виробництва (за рейтингами РА Експерт в 2012 р). Компанія «МЦЕ-Північ», що входить в міжнародний холдинг, займається експертизою (технічним діагностуванням) будівель, споруд та обладнання [151].

За інформацією експертів з технічної діагностики будівель групи компаній «Міський центр експертиз» (МЦЕ) за 2012-2013 роки, у 60% випадків руйнування відбуваються через сукупність порушень, допущених на різних етапах будівництва та експлуатації.

За рік при обваленнях будівель загинули 57 осіб і 67 осіб постраждали.

На недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт (в тому числі правил техніки безпеки) припадає 53% причин обвалень (в 2012 році – 50,68%). Брак, низька якість будівельних матеріалів – 5% (в 2012 році

– 1,36%). В результаті порушень умов (в тому числі термінів) експлуатації будівель відбувається близько 38% обвалень (в 2012 році – 46,57). Помилки, допущені при проектуванні – 4% (у 2012 році – 1,36%).

Представлена статистика включає аварії із виникненням масштабних руйнувань, у тому числі в результаті яких постраждали люди. Повний перелік аварій, який надала компанія МЦЕ наведений в (додаток А) [151].

Ведучи мову про аварії, які відбулися в період із травня 2014 по травень 2015 року, за інформацією експертів з технічної діагностики будівель групи компаній «Міський центр експертиз» (МЦЕ), в 76% випадків обвалення відбуваються через сукупність порушень, допущених на різних етапах будівництва та експлуатації [151].

За період із травня 2014 по травень 2015 року при обваленнях будівель загинули 43 людини і 144 людини постраждали. На недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт (в тому числі правил техніки безпеки) припадає 45% причин обвалень (в 2013 році – 53%) [151].

Брак, низька якість будівельних матеріалів – 5% (в 2013 році – 5%). В результаті порушень умов (в тому числі термінів) експлуатації будівель відбувається близько 31% обвалень (в 2013 році – 38%). Помилки, допущені при проектуванні – 19% (у 2013 році – 4%) [151].

На прикладі представленої статистики можна визначити недоліки у повноті поданої інформації, виокремити основні фактори, які впливають на подальшу точність обробки та систематизації даних.

1.5 Метод оцінки ризику

При проектуванні у будівництві важливим фактором після надійності конструкції виступає її економічна складова, тобто безпосередня вартість будівництва. Із метою створення найбільш сприятливих фінансових умов, для досягнення доступного будівництва, всі конструктивні рішення розглядаються в економічному плані доцільності та ефективності [110].

Щоб витрати, вкладені в безпеку споруди, виправдали себе слід

провести оцінку ризику, величина якого залежить від імовірності відмови і його наслідків. Таким чином аналіз ризику складається з двох самостійних завдань: визначення ймовірності відмови і оцінка його наслідків.

Визначення ймовірності відмови – це імовірнісний розрахунок будівельних конструкцій, заснований на трьох групах вихідних випадкових величин: впливу, характеристики матеріалів і недосконалості геометричних характеристик. Принципи розрахунку достатньо вивчені і ймовірність відмови з деякою точністю може бути визначена. Наявність сучасних обчислювальних комплексів розрахунку конструкцій в поєднанні з використанням чисельних методів, таких як Монте-Карло, метод статистичних випробувань, метод гарячих точок і т. д. вирішує цю проблему [78].

Оцінка наслідків відмови, по суті, є інженерно-економічним завданням. Результатом відмови споруди може бути не тільки обвалення стін і перекриттів, а й знищення обладнання, сировини, готової продукції, культурних цінностей і т. д., не кажучи вже про можливу загибель людей. В обов'язки інженера-будівельника входить лише математичний опис моделі стану відмови і прогнозування процесу руйнування конструкції. Прогнозування порушень технологічного процесу і неекономічного збитку входить в компетенцію інженера-технолога.

Щодо **визначення вартості збитку**, – це є економічним завданням, що вимагає розгляду питань ціноутворення, кон'юнктури, економічного прогнозу і т. д. Ця складна частина проблеми практично по цей час серйозно не вирішується. Тому в даний час в наявності присутня нагальна потреба в науковому економічному аналізі ризику [78].

Отже, на основі приведеної інформації можна стверджувати наступне:

1) Існує певний рівень надійності, перевищення якого веде до неефективного витрачання коштів на забезпечення безпеки споруд. Цей рівень характеризується ефективним значенням ймовірності відмови.

2) Будівля або споруда повинна проектуватися з урахуванням рівності

ймовірності відмови і його ефективного значення.

3) Аналіз проблеми ризику складається з двох завдань - інженерно-технічного та інженерно-економічного. Методи вирішення другого значно відстають від методів першого [96].

Відповідно до класичних уявлень ризик є двоелементною комбінацією ймовірності і наслідків настання небажаної події. Оцінка ризику є значною мірою суб'єктивною, особливо в суспільному сприйнятті (модель формування громадської думки). Так, ряд досліджень [51] показують, що часом об'єктивно невисокі ризики викликають істеричні реакції в суспільстві, в той час як дуже високі - повсюдно ігноруються.

При розрахунку ризиків, пов'язаних з обваленням конструктивної системи, зокрема при дії особливих (анормальних) впливів, найбільш складною в усіх відношеннях є вартісна оцінка життя і здоров'я людей, що піддаються потенційним загрозам, яка часто ототожнюється з ціною, яку суспільство конкретної країни схильне заплатити за забезпечення безпеки і охорону людського життя.

Як показує аналіз публікацій [46, 48, 51], в розрахунках такого типу в загальному випадку враховується досить багато параметрів (економічних, соціальних, що визначають якість життя). На жаль, необхідні для практичних розрахунків чисельні дані в ряді випадків неточні, і, крім того, вони швидко стають неактуальними (дезактуалізуються).

Слід зазначити, що методи якісного і кількісного аналізу ризиків є предметом інтенсивних досліджень. Серед цих методів при сучасному стані інформаційної бази, найбільш прийнятним, на наш погляд, є метод побудови діаграм ризику, на яких виділяють області допустимого ризику, встановлені як з урахуванням наслідків обвалення, так і вартості контрзаходів, що забезпечують захист системи. Діаграми ризику розраховують, спираючись на положення теорії розмитих множин [13, 155].

Підходи до дослідження приведені в даному параграфі можуть використовуватися для подальшої розробки алгоритму моделювання аварій

на будівельних об'єктах.

1.6 Поняття прогресуючого руйнування

Екстремальні явища (тобто терористичні акти, наїзд транспортних засобів, вибухи тощо) часто викликають локальні пошкодження будівельних конструкцій і становлять серйозну загрозу, коли виходить з ладу один або кілька несучих елементів, що призводить до ланцюгової втрати міцності і стійкості декількох елементів каркасу та загального обвалення будівлі. З початку 21 століття зростає інтерес до ризиків, пов'язаних з екстремальними явищами, особливо після нападів на Федеральну будівлю Альфреда П. Мурра в Оклахомі у 1995 р. та на Світовий торговий центр у Нью-Йорку у 2001 р. [23].

Масштабна аварія у Нью-Йорку 11 вересня 2001 року, із переплетінням багатьох трагічних обставин, стала поштовхом до виникнення напрямку наукових досліджень у питаннях прогресуючого руйнування в будівельній галузі. Причина цьому була незвичність та особливість руйнування споруди із стрімкими темпами та великою прощеною обвалення. В катастрофі 11 вересня присутня непрогнозованість руйнування що виникло. Таким чином, розглядаючи аварію в контексті аварій в результаті яких виникають пожежі, найбільш прогнозовано повинні виникати локальні руйнування конструкції будівлі у зоні впливу. Але при виникненні таких локальних руйнувань, в свою чергу йде перевантаження несучих конструкцій за рахунок розподілення впливів від видалених елементів, що в свою чергу призводить до їх руйнування. Саме це явище було виокремлене як прогресуюче руйнування [81].

Процес модернізації будівельної галузі в цілому та її розвиток зумовлює розробку сучасних нормативних документів та стандартів у будівництві.

Проблема прогресуючого руйнування знайшла висвітлення у нормативних джерелах як вітчизняних так і закордонних [54, 77, 150].

Вимоги правил за ЗП 385.1325800.2018 «Захист будівель та споруд від прогресуючого обвалення. Правила проектування. Основні положення», що регламентують захист будівель від прогресуючого руйнування обов'язково повинна враховувати будь-яка будівельна документація будівель нормального та підвищеного рівня відповідальності. Згідно з п. 4.1 цих правил, замовник має право спочатку вимагати включення в проект будівлі (споруди), що будується, додаткових елементів, що забезпечують підвищення несучої здатності конструкції. В правилах детально представлено пункт «Розрахунок на прогресуючий обвал» в якому надано два варіанта проектування захисту від прогресуючого руйнування при капітальному ремонті. Перший – у разі капремонту будівель та споруд підвищеного рівня відповідальності та другий – для цих самих об'єктів нормального рівня відповідальності [150]. У вітчизняних нормах [77, 83] відзначено, що будівельні конструкції й основи повинні відповідати наступним вимогам: мати достатню живучість по відношенню до локальних руйнувань і передбачених нормами аварійних впливів (пожеж, вибухів, наїздів транспортних засобів тощо), виключаючи при цьому явища прогресуючого руйнування, коли загальні пошкодження виявляються значно більшими ніж первісне збурення, що їх викликало.

Питаннями прогресуючого руйнування займаються такі вчені як В.В. Тур [157], Д.А. Городецкий [140], М.С. Барабаш [62, 63], F. Parisi, M. Scalvenzi, E. Brunesi, G. Mucedero, De-Cheng Feng, Hai-Rong Shi, Jose M. Adam [7, 18, 19, 24, 31], F. Kiakojour, V. De Biagi, B. Chiaia, M. Sheidaii [17], Parthasarathi N., Satyanarayanan K.S. [32], В.О. Алмазов [72].

Розрахунок ризиків прогресуючого обвалення розглядається при певному переліку загроз, що включає в загальному випадку:

- 1) аномальні, особливі впливи (природні або помилки при проектуванні та зведенні);
- 2) порушення в експлуатації;
- 3) несправності об'єкта.

Загальна стратегія обмеження небезпеки (ризик) розвитку прогресуючого обвалення конструктивної системи повинна містити наступні етапи:

- 1) Оцінка ризику та імовірнісне формулювання конструкційних критеріїв (наприклад, допускається ймовірність руйнування конструктивних елементів);
- 2) Характеристика пошкоджень впливів;
- 3) Вироблення стратегії обмеження загроз від особливих впливів;
- 4) Впровадження в професійну практику.

Як видно з опису загальної стратегії обмеження небезпеки прогресуючого обвалення конструктивної системи, першим і одним з основних елементів стратегії є оцінка ризику і, відповідно, імовірнісне формулювання конструкційних критеріїв [89].

На сьогодні найбільш детально представлено врахування протидії прогресуючому руйнуванню в американських стандартах UFC 4-023-03 «Design Of Buildings To Resist Progressive Collapse. Department of defense. USA» [54] і GSA «Facilities Standards for the Public Buildings Service» [20].

Адміністрація загальних служб (GSA, 2003b) пропонує дещо більш конкретний опис явища: «Прогресуюче руйнування — це ситуація, коли локальне руйнування основного конструктивного компонента призводить до руйнування суміжних елементів, що, у свою чергу, призводить до додаткового руйнування. Було також запропоновано, щоб ступінь «прогресуючого» колапсу визначали як відношення загальної площі або об'єму, що зруйнувалася, до площі або об'єму, які були пошкоджені або знищені безпосередньо внаслідок ініціюючої події [20].

Видання 2000 року GSA Facilities Standards for the Public Buildings Service (GSA, 2000) містило таке твердження під заголовком «Прогресуюче руйнування» в розділі «Структурні міркування»: «Структура повинна бути здатна витримувати локальні пошкодження без дестабілізації всієї структури. Порушення балки, плити або колони не повинно призводити до руйнування

конструктивної системи. У разі руйнування колони пошкодження балок і балок над колоною мають бути обмежені великими прогинами. Не можна допускати обвалення перекриттів або дахів» [16].

Видання 2003 року GSA Facilities Standards for the Public Buildings Service (GSA, 2003a) [20] зберегло заголовок «Прогресуюче руйнування» з видання 2000 року, але замінило всі слова, відтворені вище, таким коротким твердженням: «Зверніться до розділу 8: Безпека Дизайн». Конструктивні положення в Главі 8 застосовуються лише до будівель, які вважаються такими, що піддаються ризику вибухової атаки. Для таких будівель у розділі наведено загальні вказівки з експлуатації та посилання на різні технічні посібники для вивчення впливу вибуху. Це являє собою повну зміну підходу у порівнянні з версією того самого документа 2000 року.

Рекомендації GSA з аналізу прогресуючого руйнування та проектування нових федеральних офісних будівель і великих проектів модернізації (GSA, 2003b) [20] починаються з процесу визначення того, чи звільняється будівля від розгляду прогресуючого руйнування. Виняток залежить від типу та розміру будівлі і не пов'язана з рівнем загрози. Типові будівлі зі сталі або бетону мають бути дослідженні шляхом аналізу на стійкість при виключенні однієї колони або однієї 30-футової несучої стіни без виникнення руйнування.

Загалом існує три альтернативних підходи до проектування конструкцій, щоб зменшити їх сприйнятливість до непропорційного руйнування:

- Резервування або альтернативні шляхи навантаження.
- Місцевий опір.
- Взаємозв'язок або безперервність.

У підході резервування або альтернативного шляху навантаження структура розроблена таким чином, що якщо будь-який один компонент виходить з ладу, альтернативні шляхи доступні для завантаження цього компонента, і загальний колапс не відбувається. Цей підхід має перевагу

простоти та лінійності. У своєму найпоширенішому застосуванні проектування з резервуванням вимагає, щоб будівельна конструкція була здатна витримати втрату будь-якої однієї колони без руйнування.

У підході місцевого опору сприйнятливість до прогресуючого/непропорційного руйнування зменшується шляхом надання критичним компонентам, які можуть піддаватися впливам, додаткового опору. Для цього потрібні певні знання про природу потенційних впливів. І це дуже важко кодифікувати простим і об'єктивним способом.

Взаємозв'язок або безперервність - окремий від резервування та локального опору, та є засобом покращення резервування або/та локального опору. Дослідження багатьох недавніх руйнувань будівель показали, що аварії можна було б уникнути або принаймні зменшити її масштаб за досить невеликих додаткових витрат, якби конструктивні компоненти були пов'язані між собою більш ефективно. Це є основою вимог до «структурної цілісності» в специфікації 318 (ACI, 2002) [5].

Виконання представлених підходів слугує основним розрахунковим критерієм забезпечення будівлі від виникнення прогресуючого руйнування, що є одним із важливих елементів проектування в сучасній будівельній сфері [127].

1.7 Прогнозування сценарію аварії

Для підрахунку можливих матеріальних збитків і (або) соціальних втрат від відмови об'єкту, пов'язаних з припиненням експлуатації або із втратою його цілісності, визначаються найбільш імовірні прогнози *можливої аварії* (наприклад, пошкодження, вихід із ладу, руйнування будинку, будівлі, споруди, лінійного об'єкту інженерно-транспортної інфраструктури або їх частин), що сталася з техногенних або природних причин. Можливі збитки оцінюють, виходячи з прогнозованого сценарію АСІ аварії, з урахуванням передбачених проектом заходів щодо локалізації можливої аварії (наприклад, поділенням об'єкту будівництва на окремі

частини) [79].

Сценарій аварії – це модель послідовності подій, що можуть статися внаслідок виникнення ініціюючого впливу (перевантаження, помилки персоналу, аварійної відмови захисних пристроїв тощо) на конструкції будинку, будівлі чи споруди. При цьому використовується принцип одиначної відмови, коли вважається, що аварійна ситуація ініціюється лише одним чинником (відмовою одного елемента конструкції, однією помилкою персоналу, одним порушенням технологічного процесу) [80].

Крім звичайних розрахункових ситуацій, що повинні передбачатися під час проектування, аналізується можливість виникнення і наслідки аварійних ситуацій, що можуть виникнути за рахунок позапроектних впливів чи помилок персоналу (проектувальників, будівельників, експлуатаційного персоналу тощо).

Рекомендується розглянути можливість, наприклад, таких подій [79]:

- вихід із ладу і руйнування окремої несучої конструкції за рахунок її перевантаження понадпроектними сполученнями навантажень і впливів;
- виникнення великих просадок ґрунтових основ при їх аварійному замочуванні;
- вплив можливого карстового провалу, зсувів ґрунту тощо;
- вплив ударів від наїзду транспортних засобів;
- можливість відмови конструкцій при виникненні пожежі;
- пошкодження будівельних конструкцій аварійними вибухами (наприклад, побутового газу);
- можливість порушення технологічного регламенту чи пошкодження устаткування (розриви трубопроводів, падіння вантажів, інші позапроектні впливи) [103].

Для багатоповерхових будинків і будівель у якості ініціюючих подій слід враховувати гіпотетичні обвалення, що перераховані у пункті Е.1.2 ДБН В.2.2-24:2009 [79].

1.8 Класи наслідків (відповідальності) будівель і споруд

Класи наслідків (відповідальності) будівель і споруд використовують для забезпечення надійності та конструктивної безпеки будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, а також будівельних конструкцій та основ. Клас наслідків (відповідальності) визначається рівнем можливих матеріальних збитків і (або) соціальних втрат, пов'язаних із припиненням експлуатації або із втратою цілісності об'єкта [129].

Можливі соціальні втрати від відмови повинні оцінюватися в залежності від таких факторів ризику, як:

- небезпека для здоров'я і життя людей;
- різке погіршення екологічної обстановки у прилеглий до об'єкта місцевості (наприклад, при руйнуванні сховищ токсичних рідин або газів, відмові очисних споруд каналізації тощо);
- втрата пам'яток історії і культури або інших духовних цінностей суспільства;
- припинення функціонування систем і мереж зв'язку, енергопостачання, транспорту чи інших елементів життєзабезпечення населення або безпеки суспільства;
- неможливість організувати надання допомоги потерпілим при аваріях і стихійних лихах;
- загроза обороноздатності країни.

Можливі економічні збитки повинні оцінюватися витратами, пов'язаними як з необхідністю відновлення об'єкта, що відмовив, так і з побічними збитками (збитки від зупинки виробництва, прогаяна вигода тощо).

Характеристики можливих наслідків є підставою для класифікації об'єктів будівництва по трьох класах наслідків (відповідальності) – СС1, СС2 та СС3 (табл. 1.1) [77].

Категорії відповідальності конструкцій та їх елементів. Залежно від

наслідків, які можуть бути викликані відмовою, розрізняють три категорії відповідальності конструкцій та їх елементів:

А – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до повної непридатності до експлуатації будівлі (споруди) в цілому або значної її частини.

Б – конструкції та елементи, відмова яких може призвести до ускладнення нормальної експлуатації будівлі (споруди) або до відмови інших конструкцій, які не належать до категорії А.

В – конструкції, відмови яких не призводять до порушення функціонування інших конструкцій або їх елементів.

У складі категорії А можуть виділятися конструкції категорії А1 (головні несучі конструкції), безвідмовність яких забезпечує будівлю або споруду від повного руйнування при аварійних впливах, навіть якщо її подальше використання за призначенням при цьому стане неможливим без капітального ремонту [77].

Таблиця 1.1

Клас наслідків (відповідальності) будинків, будівель, споруд, лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури за ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013

Клас наслідків (відповідальність)	Характеристики можливих наслідків від відмови будинків. Будівель. Споруд. Лінійних об'єктів інженерно - транспортної інфраструктури					
	Можлива небезпека. Кількість осіб			Обсяг можливого економічного збитку, м.р.з.п.	Втрата об'єктів культурної спадщини, категорії об'єктів	Припинення функціонування об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури, рівень
	Для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті	Для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті	Для життєдіяльності людей, які періодично перебувають зовні об'єкта			
СС3 Значні наслідки	> 400	Понад 1000	Понад 50000	Понад 150000	Національного значення	Загальнодержавний
СС2 Середні наслідки	Від 50 до 400	Від 100 до 1000	Від 100 до 50000	Від 2000 до 150000	Місцевого значення	Регіональний, місцевий
СС1 Незначні наслідки	До 50	До 100	До 100	До 2000	-	-

Типи розрахункових ситуацій. При розрахунках конструкцій слід розглядати такі типи розрахункових ситуацій:

- усталені, для яких характерна тривалість реалізації T_{sit} того ж порядку, що й встановлений термін експлуатації будівельного об'єкта T_{ef} (наприклад, період експлуатації між двома капітальними ремонтами або змінами технологічного процесу);
- перехідні, для яких характерна тривалість реалізації T_{sit} невелика порівняно із встановленим терміном експлуатації T_{ef} , (наприклад, період зведення об'єкта, капітального ремонту, реконструкції);
- аварійні, для яких характерна мала ймовірність появи P_{sit} і, як правило, невелика тривалість реалізації $T_{sit} \ll T_{ef}$, але які є досить важливими з точки зору наслідків можливих відмов (наприклад, ситуації, які виникають під час вибухів, пожеж, аварій обладнання, зіткнень транспортних засобів, а також безпосередньо після відмови будь-якого елемента конструкції) [77].

Якщо в нормах проектування не визначена розрахункова ситуація, то припускається, що відповідні вимоги норм належать до усталених та перехідних розрахункових ситуацій, які прогнозуються. Аварійні ситуації завжди повинні бути вказані явно [77].

1.9 Оцінка можливих економічних збитків

Оцінка можливих економічних збитків повинна враховувати [77]:

- збитки від руйнування чи пошкодження основних фондів;
- збитки від втрат готової промислової чи сільськогосподарської продукції;
- збитки від втрат запасів сировини, напівфабрикатів та проміжної продукції.

Одна із найбільш важливих задач інженерного розрахунку конструкцій полягає в мінімізації витрат на її здійснення. Розрахунок такого типу представлений у ДБН Д.1.1-1-2000 «Правила визначення вартості

будівництва» [80], а також у роботах Личова О.С. [97].

Збитки від руйнування чи пошкодження основних фондів розраховуються, виходячи із втрати їх залишкової вартості, тобто балансової вартості з урахуванням амортизації. Припустимо приймати, що відмова трапилася на момент середнього значення встановленого терміну експлуатації T_{ef} і розрахувати залишкову вартість на цей момент часу. Тоді збитки від можливого руйнування основних фондів розраховуються за формулою [77]:

$$\Phi = c \sum_i^n P_i \left(1 - \frac{1}{2} T_{ef} \times K_{a,i} \right), \quad (1.1)$$

де Φ – прогнозовані витрати (тис. грн.);

c – коефіцієнт, що враховує відносну долю основних фондів, що повністю втрачаються під час аварії. Значення c можна оцінювати при аналізі сценарію розвитку аварії. Попередньо приймається 0,45;

P_i – кошторисна вартість i -го виду втрачених основних фондів, під якою слід розуміти загальну вартість, визначену на підставі ДБН Д.1.1-1-200 «Правила визначення вартості будівництва» [80];

T_{ef} – середнє значення встановленого терміну експлуатації основних фондів;

$K_{a,i}$ – коефіцієнт амортизаційних відрахувань i -го виду основних фондів;

n – кількість видів основних фондів.

1.10 Некономічні наслідки

Будь-яка будівельна конструкція та споруда мають об'єктивну імовірність відмови. Найбільш тяжкою відмовою є фізичне руйнування конструкції, на площі враження якої знаходяться люди. При цьому стає реальною загроза їх здоров'ю та життю. Визначення ступеню такої загрози

постає важливим соціальним та технічним завданням., нормоване рішення якого в наш час відсутнє. В той же час його рішення дозволило б чисельно обґрунтувати безпеку експлуатації будівлі як на етапі зведення, так і на етапі його експлуатації [30, 97, 160].

Багатьма дослідженнями показано, що надійність будівель та споруд у процесі їх експлуатації зменшується більш інтенсивно, ніж це слідує із пропозицій проектувальників. Така ситуація обумовлена, в основному, непроектними умовами фактичної експлуатації будівель, а також непередбачуваними випадковими впливами, що призводить до інтенсивного накопичення пошкоджень в конструкціях. Звичайно, що із зменшенням надійності будівлі відбувається зменшення її безпечності при експлуатації, і люди, що знаходяться в будівлі, наражаються на небезпеку. Досвідом проектування та експлуатації будівель та споруд віднайдено практичний рівень безпеки людини, що знаходиться в будівлі. Це відображено в різноманітних коефіцієнтах надійності та нормованих правилах проектування будівель та споруд. Однак така схема не може бути використана для унікальної будівлі, так як досвіду із її експлуатації не існує. Неможливо її також використати й до будівлі, яка експлуатується, так як будь-яка будівля в результаті експлуатації стає унікальною [97].

Термін «неекономічні втрати» досить тривалий час не розглядався науковцями. Але не дивлячись на складності у даному питанні, все ж почалася робота над розробкою перших гіпотез, в результаті чого були досягнуті відповідні результати.

Термін «неекономічна відповідальність» конструкції позначає дещо, що має відношення до життя та здоров'я людей.

В роботі Личьова О.С. [97] термін «неекономічні втрати» використовується в якості критерію безпеки конструкції та споруди. Він означає кількість людей, що знаходяться на площі ураження від відмови конструкції в момент її відмови. Під площею ураження від відмови конструкції розуміється площа, на яку може обвалитися конструкція.

Неекономічні втрати можуть бути визначені кількісно, можуть слугувати порівняльною характеристикою, їх можна нормувати, за ними можна визначати необхідну міцність конструкції [97].

Вважається, що практично всі будівлі та споруди мають змішану економічну та неекономічну відповідальність (останню іноді називають моральною). У зв'язку із цим в 1981 році в норми проектування було введено коефіцієнт надійності за призначенням, що змінював навантаження чи несучу здатність конструкції в межах 0,8-1,0. Вказані коефіцієнти були введені в норми проектування спеціалістами на основі експертної оцінки рівня значення споруди.

Необхідність урахування соціальних критеріїв при проектуванні будівельних конструкцій привела англійських вчених до розробки залежності, яка визначає імовірність відмови від різноманітних соціальних факторів [97]:

$$Q = \frac{10^{-4} \zeta_s T}{L}, \quad (1.2)$$

де ζ_s – коефіцієнт соціальної значимості;

T – розрахунковий термін служби споруди в роках;

L – середнє число людей, що знаходяться всередині споруди або в безпосередній близькості до неї протягом тривалого періоду, за який оцінюється ризик [97].

Облік неекономічної відповідальності конструкцій, що проектуються відображає в собі:

- особливості об'ємно-планувального та конструктивного рішення споруди;
- режим перебування людей в приміщенні;
- імовірнісні властивості конструкції [97].

Також, вченими було запропоновано облік відповідальності проводити

не в грошовій формі, а на порівняльній основі. Із точки зору безпеки людей (а цей фактор являється вирішальним при обліку неекономічної відповідальності) за еталон безпеки можуть бути прийняті неекономічні втрати, що виникають при руйнуванні найбільш масивної конструкції, встановленої в будівлі, де людина проводить більшу частину свого життя і де у неї не виникає сумнівів в безпеці конструкцій. (Такою конструкцією може слугувати, наприклад, пустотна плита перекриття, встановлена в житловому будинку).

Методика обліку неекономічної відповідальності була розроблена для будівель із різними умовами розміщення людей по площі приміщень. У першому випадку проектне розподілення людей рівномірно по площі приміщення, в іншому – заплановане розміщення людей по площі приміщення нерівномірно та в залежності від пріоритету місця.

Розв'язання для першого випадку засноване на використанні елементарної теорії ймовірності та зводиться до визначення імовірності появи події, що полягає у відмові конструкції в момент, коли на площі ураження будуть знаходитися люди.

Для рішення розрахункових залежностей були введені наступні позначення:

F_n – площа ураження;

F_k – площа ураження при відмові конструкції;

$F_{min}=0.2 \text{ м}^2/\text{люд}$ – мінімальний розмір нормованої площі, яка приходить на одну людину;

M – кількість людей, що знаходяться в приміщенні t годин на добу;

Q_k – імовірність відмови конструкції;

\bar{t} – кількість годин на добу, протягом яких людина знаходиться в приміщенні;

t_1 – кількість годин на добу, протягом яких людина, що знаходиться в приміщенні, може випадково знаходитися не на робочому місці у тому ж приміщенні.

Вірогідність події, коли в момент відмови конструкції на площі ураження буде знаходитися одна людина, буде дорівнювати:

$$B = \frac{t}{24} Q, \quad (1.3)$$

Середні систематичні неекономічні втрати від відмови конструкції визначаються за формулою:

$$\bar{\Pi}_{\text{сист}} = M \cdot \frac{F_k}{F_n} \cdot B = \bar{N} \cdot Q, \quad (1.4)$$

\bar{N} – середньо імовірнісна кількість осіб на площі ураження.

На ураженій площі крім \bar{N} осіб можуть випадково та тимчасово знаходитися L чоловік. Їх кількість визначається за допомогою величини F_{min} таким чином:

$$L = \frac{F_k}{F_{min}} - \bar{N}. \quad (1.5)$$

Кількість людей, що випадково знаходяться на площі ураження при відмові конструкції, не може бути більшою ніж $M - \bar{N}$. Тому:

$$L = \frac{F_k}{F_{min}} - \bar{N} \leq M - \bar{N}. \quad (1.6)$$

Середньо ймовірнісне значення випадкових втрат можна виразити, використавши теорему про повторення дослідів:

$$\bar{\Pi}_{\text{сл}} = Q \cdot \sum_{i=1}^L i \cdot p_i = Q \cdot L, \quad (1.7)$$

де i – кількість випадково потрапивши на площу ураження людей;

$p_i = C_L^i \cdot p^i \cdot (1 - p)^{L-i}$ – імовірність потрапляння на ту ж площу i людей;

$$C_L^i = \frac{L(L-1)(L-2)\dots(L-i+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots i} \text{ – кількість поєднань з } L \text{ по } i;$$

$$p = \frac{t_1}{24} \text{ – імовірність випадкового попадання людини на уражену площу}$$

за часом.

$$\bar{P}_{сл} = Q \cdot L. \quad (1.8)$$

Повні середньо ймовірнісні неекономічні втрати отримуються в результаті суми:

$$\bar{P} = \bar{P}_{сист} + \bar{P}_{сл} = (\bar{N} + \bar{L}) \cdot Q_k. \quad (1.9)$$

На основі викладеної методики оцінки неекономічних втрат виникли пропозиції по зміні принципу проектування будівельних конструкцій. Було запропоновано проектувати будівельні системи та вироби, виходячи із принципу **однакових** неекономічних втрат. Його зміст полягає в тому, що відмова будівельної конструкції в будівлі будь-якого призначення призводить до однакових неекономічних втрат, рівним еталонним. Таким чином, будівельні елементи повинні проектуватися із імовірністю відмови:

$$Q_{пр} \leq \frac{\bar{P}_{ет}}{\bar{N}_{пр}}, \quad (1.10)$$

де $\bar{P}_{ет}$ – еталонні неекономічні втрати;

$\bar{N}_{пр}$ – середньоїмовірнісна кількість людей на площі ураження для

конструкції, яка проектується.

Із цього слідує, що облік неекономічної відповідальності проєктованих конструкцій відображає в собі:

- особливості об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі;
- режим перебування людей в приміщенні;
- імовірнісні властивості конструкцій [97].

Отже, даний підхід у розрахунках, разом із використанням розрахунку на економічні наслідки, надасть більш точну інформацію щодо рівня відповідальності будівлі що проектується. Отримані дані можуть бути використані у подальшому створенні алгоритму моделювання можливого виникнення руйнування будівлі, із встановленням найбільш небезпечних ділянок на об'єкті.

1.11 Висновки по розділу

У результаті проведеного аналізу стану питання по темі дисертації можна зробити наступні висновки:

1. Питаннями аварій будівель та споруд займалися ряд вчених у 20 ст, але одержана інформація внаслідок стрімкого розвитку будівельної галузі в цілому є застарілою та не актуальною на наш час.
2. Інформація щодо статистики аварій, зібрана сучасними вченими, є недостатньо систематизованою та структурованою, матеріали потребують об'єднання в один цільний алгоритм.
3. На прикладах статистичної інформації різних центрів експертиз було встановлено достатньо велику повторюваність однотипних аварій.
4. Поняття моделювання аварії та створення алгоритму моделювання аварії будівельного об'єкту тільки починає вводитися в будівельні норми [78] та не набуло більш широкого та систематизованого підходу у проєктуванні.
5. Поняття економічних та неекономічних наслідків в результаті моделювання сценарію імовірного руйнування будівлі або споруди

тільки почало вводитися у термінологію будівельної галузі вцілому та потребує доопрацювання.

- б. Розрахунок неекономічних наслідків дає змогу визначити максимальну кількість перебування людей при проведенні моделювання конструкції.

На підставі наведених висновків в даній дисертаційній роботі була сформульована мета роботи: створення, на основі статистичного аналізу руйнувань будівель і споруд, алгоритму моделювання механізму ймовірного виникнення аварії на будівельному об'єкті різного типу призначення для можливості його використання інженерами на етапі проектування для підвищення надійності будівель і споруд.

Для досягнення поставленої мети необхідно отримати наступні дані про:

- відсоткове співвідношення аварій у будівництві на сьогоднішній із врахуванням типу будівлі, типу каркаса, територіальної особливості забудови, типом аварії що виникла, її причинами, наслідками та етапом роботи конструкції на якому виникла відмова;
- роботу каркасу промислової багатоповерхової будівлі у результаті моделювання різних типів аварій;
- методики створення алгоритму моделювання механізму руйнування будівлі або споруди різного типу.

Також поставлені наступні задачі:

1. Створити статистику аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. із вивченням типу аварії, моментом роботи конструкції на час руйнування та причин їх виникнення.
2. Запропонувати класифікацію аварій за імовірністю їх виникнення.
3. Провести аналіз аварій будівель та споруд, на підставі зібраної статистики та візуалізувати результати за допомогою мап та діаграм.
4. Провести аналіз методик розрахунку економічних та неекономічних наслідків, із використанням у створеному алгоритмі моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті.

5. На основі зібраного та опрацьованого статистичного матеріалу створити алгоритм проведення моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди на етапі проектування, із метою усунення можливості утворення прогресуючого руйнування будівельного об'єкта.
6. Запроектувати будівлі різного типу призначення, із метою проведення моделювання можливого виникнення аварії за допомогою створеного алгоритму.
7. Реалізувати створений алгоритм на прикладі реального будівельного об'єкта.

РОЗДІЛ 2 СИСТЕМАТИЗАЦІЯ АВАРІЙ У БУДІВНИЦТВІ

2.1. Проведення систематизації аварій у будівництві

Обширний інформаційний простір дав можливість створення інформаційної таблиці щодо аварій будівель та споруд різного типу призначення. У ході дослідження статистичної інформації аварій будівель за минуле століття, було визначено основні положення роботи.

- Статистичний збір аварій проводиться за 21 ст. Причиною цього є інші властивості конструкційних матеріалів, що змінювалися із часом, типів каркасу та підходів до проектування будівельних інституцій із сучасними умовами. Тобто, аварії, які вже відбулися більш ніж 20 років тому, значною мірою відрізняються від статистичного аналізу аварій в сучасності. При цьому варто зазначити, що збір аварій не обмежувався віковими параметрами будівлі.

- Обов'язковими даними для створення статистики аварій є дата, місце виникнення, інформація щодо руйнувань, тип будівлі, її поверховість, конструкція каркасу, наслідки руйнувань (економічні та неекономічні), причини руйнувань (за можливості).

- Статистика аварій не має територіальних обмежень, та включає всі загальні випадки руйнувань будівель та споруд будь-якої країни.

- Статистика аварій не включає масові стихійні лиха, які призвели до одночасного руйнування більш ніж трьох будівель.

- Статистика аварій не включає руйнування будівель внаслідок ведення повномасштабних бойових дій, але, розглядає поодинокі випадки терористичних актів та випадкових вибухів.

- Статистика аварій включає випадки виникнення пожеж на будівельному об'єкті, як один із факторів можливого виникнення прогресуючого руйнування.

При проведенні систематизації розглядалися випадки руйнування

будівель та споруд під час будівництва, експлуатації, реконструкції, демонтажі, а також будівель визнаних аварійними і будівель перебуваючих на етапі «замороженого» будівництва. В подальшому типи аварій були співвстановлені із графіком роботи конструкції (Рис. 2.2) і набули поняття «Етап роботи конструкції на якому відбулася аварія» в класифікації аварій.

На основі представлених вище положень роботи було створено блок-схему етапів проведення аналітичної обробки даних статистики аварій будівель та споруд (Рис. 2.1).

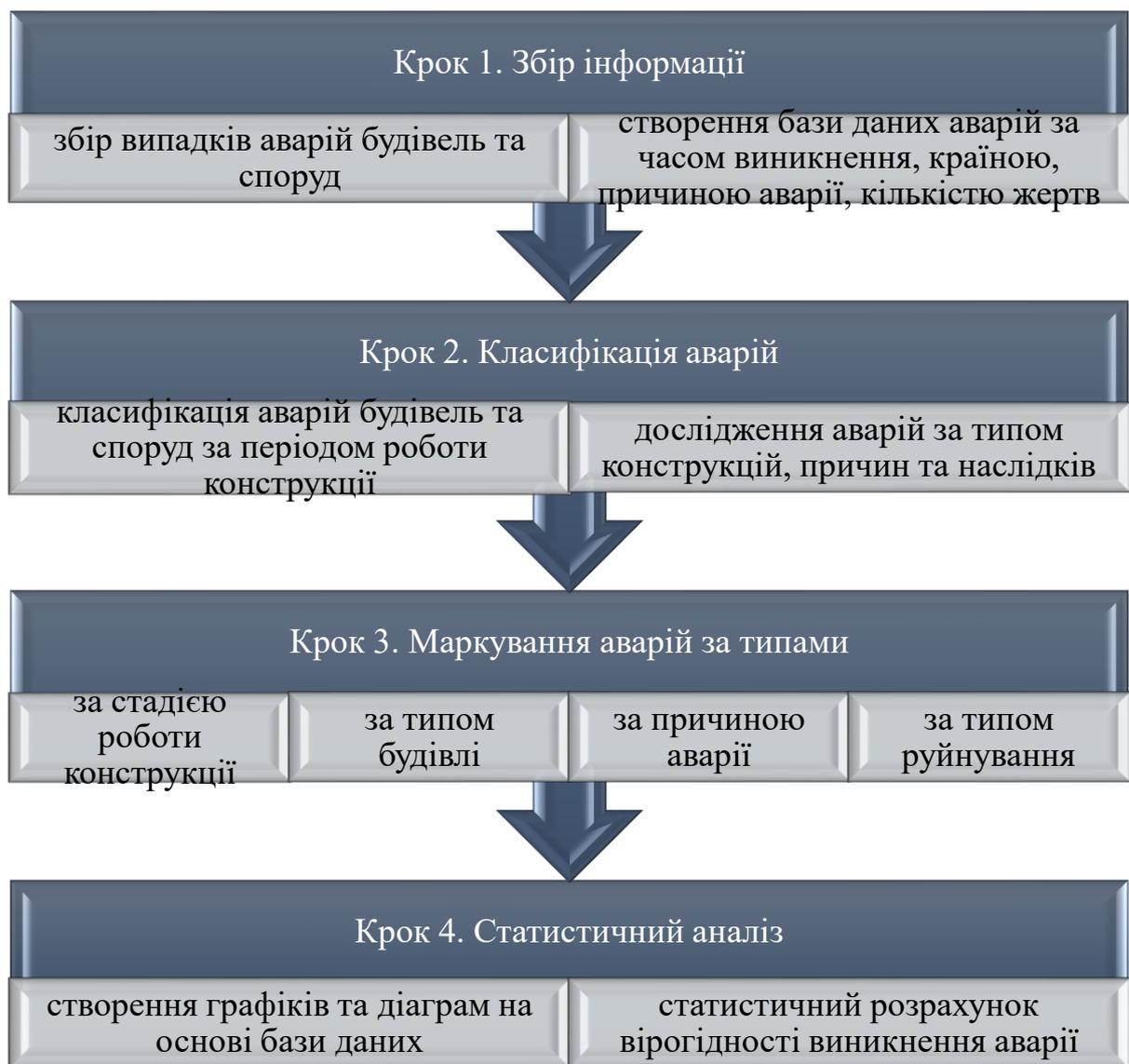


Рис. 2.1. Етапи аналітичної обробки даних статистики аварій будівель та споруд

Проблема дослідження аварій будівель та споруд полягає в неповному обсязі інформації з приводу тих чи інших аварій, або замовчування їх причин.

Випадки масштабних аварій, у результаті яких велися розслідування та складені відповідні висновки безперечно висвітлюють проблематику питання найкраще, але є й такі аварії, які замовчуються із різних причин, однією з яких є комерційна боротьба на ринку між будівельними компаніями. Іноді висвітлення аварій подається неповним, із неточною інформацією, або ж із невстановленими причинами інциденту. Всі ці фактори впливають на якість обробки інформації.

Для проведення аналізу, матеріали щодо аварій збиралися за допомогою інформаційної мережі, світових новин та сучасних наукових публікацій, із розглядом питання руйнування будівель та споруд.

На підставі отриманого матеріалу була створена єдина таблиця бази даних, щодо аварій будівель та споруд, яка в результаті опрацювання була представлена у вигляді класифікаційної таблиці (додаток А). Слід зазначити, що інформація постійно оновлюється в залежності від інцидентів, які відбуваються у даний момент часу.

Загальна блок-схема класифікаційної таблиці із маркуваннями бази даних аварій будівель та споруд представлена на Рис. 2.2.

При зборі та аналізі аварій будівель та споруд першочергово вдалося визначити взаємозв'язок моменту виникнення аварії із етапами роботи конструкції загалом. Тому було виокремлено основні стадії роботи конструкції, в момент якої виникла аварія (Рис. 2.3).

Розглянемо такий важливий показник надійності будівель, як інтенсивність відмов λ , який чисельно показує кількість об'єктів даного типу, що вийшли з ладу за одиницю часу роботи. Показовим є характер зв'язку $\lambda(t)$ із часом t (Рис. 2.3), де можна виділити три стадії експлуатації конструкції [51].



Рис. 2.2. Класифікаційна таблиця із маркуванням загальної бази даних аварій будівель та споруд.

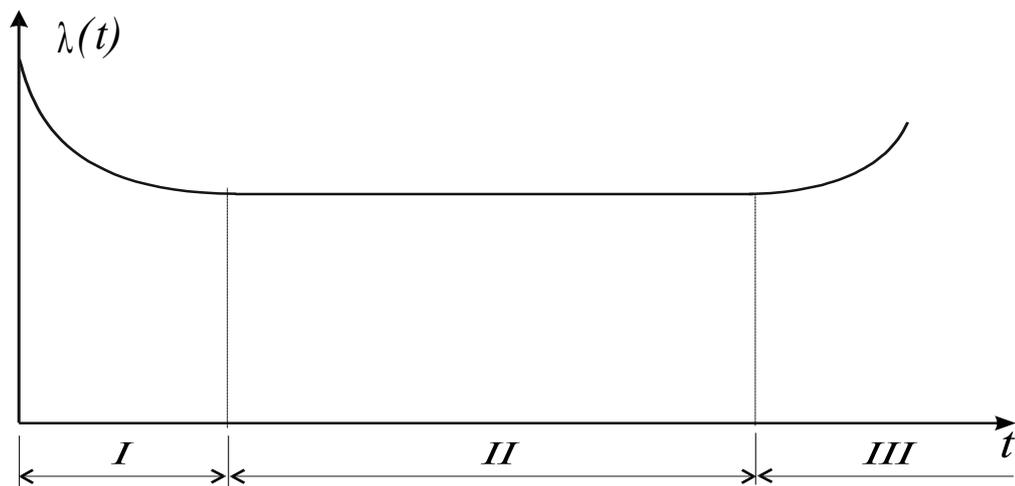


Рис. 2.3. Стадії роботи конструкції: $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов; t – час роботи.

I. Припрацювання («випалювання» дефектних елементів). Це пов'язано з тим, що у великій партії нових конструкцій завжди є екземпляри з прихованими дефектами, які виходять із ладу зразу після початку роботи. Для усунення цього етапу в деяких випадках використовуються попереднє завантаження і перевірочні випробування (наприклад, пробне завантаження перекриття або приймальне випробування нового резервуара підвищеним тиском).

II. Період нормальної роботи, який характеризується постійною інтенсивністю відмов $\lambda(t) = const$. Це основна стадія роботи кожної конструкції, вона має найбільшу тривалість, це «штатний режим конструкції». На умові $\lambda(t) = \lambda$ побудовані рішення широкого класу задач надійності будівельних конструкцій.

III. Період старіння – коли спрацювання та старіння призводять до погіршення якості конструкції, небезпека відмов зростає. Термін служби багатьох будівельних об'єктів закінчується раніше, ніж настає помітне старіння цих об'єктів [129].

Проаналізувавши наведений графік, можна зробити висновок, що ймовірність виникнення аварійної ситуації в період будівництва об'єкту та

при здачі його в експлуатацію досить велика.

Після проведення класифікації за стадією роботи конструкції було визначено основні причини аварій будівель і споруд. Таким чином було проведення маркування аварій R_1-R_6 для різних типів будівель B_1-B_5 . (Рис. 2.2).

Отже, при проведенні статистичного збору інформації об'єкти групувалися за стадіями роботи конструкції (табл. 2.1), за причиною аварії (табл. 2.2), за типом об'єкту (табл. 2.3), за зруйнованими конструктивними елементами (несуча стіна, колона, фундамент, перекриття, покриття, інші) та за факторами впливу на конструкцію.

Таблиця 2.1

Групування об'єктів за етапами будівництва та експлуатації

Група	Стадія роботи конструкції
С	Етап будівництва та введення в експлуатацію
Е	Експлуатація
Р	Реконструкція
А	Будівлі з великим терміном експлуатації

Таблиця 2.2

Групування об'єктів за причиною аварії

Причини аварій		Маркування
1	Недотримання норм при будівництві	R_1
2	Помилки проектувальників	R_2
3	Некоректна експлуатація	R_3
4	Будівлі з великим терміном експлуатації	R_4
5	Некоректна реконструкція	R_5
6	Природні катаклізми	R_6

Групування об'єктів за типом об'єкту

№	Тип об'єкту	Маркування
1	Житловий багатоповерховий будинок	B ₁
2	Житловий багатоповерховий будинок	B ₂
3	Громадська будівля	B ₃
4	Промислова будівля	B ₄
5	Споруда	B ₅

2.2. Аварії будівель та споруд при будівництві.

В роботі було проведено аналіз аварій будівель та споруд на стадії будівництва.

Наприклад, 5 березня 2003 року у Москві, обвалилися конструкції багатофункціонального торговельного центру при демонтажі цегляних діафрагм (пілонів), які знаходилися навколо сходових кліток. Основною причиною обвалення будівлі стали порушення технології робіт при демонтажі конструкцій. Супутні причини – відхилення від проектних рішень при будівництві демонтованої частини будівлі (недостатнє защемлення горизонтальної двогілкової балки, діаметр анкерів кріплення балки до закладної деталі опорної подушки становив 12 мм замість 25 мм, хвостова частина цієї балки не була надійно з'єднана зваркою із основною частиною балки, був виконаний імітаційний (фальшивий) шов [56].

23 лютого 2015 року в Черняхівську, обвалилася стіна недобудованої споруди, будівництво якої призупинилося на значний термін. В результаті інциденту загинув 11-річний підліток, під час обвалення на хлопчика впала плита. Недобудована будівля знаходилася в приватній власності, після огляду місця події було прийнято рішення про порушення кримінальної

справи [137].

Аварія несе за собою не тільки значні економічні збитки, але й може забрати людські життя. Таким чином, в Індії загинула 71 людина, із них 25 дітей, у результаті обвалення будинку, що знаходився в процесі будівництва. За інформацією індійського телеканалу NDTV, трагедія сталася неподалік міста Мумбаї, 6 квітня 2013 року. Будівництво семиповерхової житлової будівлі велося нелегально, при відсутності необхідної документації, яка б підтверджувала безпечність робіт на об'єкті. Як пояснюють співробітники правоохоронних органів, незважаючи на те, що будівля була зведена незаконно, а її будівництво не закінчено, чотири поверхи вже було заселено мешканцями. Імовірною причиною катастрофи стала низька якість будівництва та будівельних матеріалів. Обвалення частини будівлі спричинило руйнування всієї конструкції. Очевидці розповідають, що семиповерхова будівля склалася за 3-4 секунди, мов картковий будиночок [142].

Вказана тенденція підтвердилася в грудні 2012 року в місті Вагхоли, де в результаті обвалення недобудованого будинку загинуло 13 людей, а раніше, у вересні, зруйнувалася будівля в місті Пуна, штат Махараштра, Індія, в результаті чого загинуло шість людей [68]. 29 липня 2016 року у тому ж місті обвалилася частина будівлі, що знаходилася на етапі будівництва. В результаті інциденту дев'ять робочих загинуло [69].

В процесі будівництва особливу увагу необхідно приділяти інцидентам, що виникли в результаті недотримання норм безпеки на об'єкті та технології будівництва. Частіше за все, прикладами таких аварій стають руйнування залізобетонних будівель.

Наприклад, 14 квітня 2014 року в місті Архангельськ, зруйнувалася офісна будівля. З висоти 3-х поверхової будівлі впав та тяжко травмований робітник (Рис. 2.4) [59].



Рис. 2.4. Обвалення конструкцій офісного центру під час будівництва, Архангельськ

Такого типу аварії виникають у всьому світі. Наприклад, 29 березня 2013 року в місті Дар-Ес-Салам, Танзанія, обвалилася 12-поверхова недобудована будівля, в результаті чого загинули 36 чоловік. По відношенню до власників та будівельних підрядників ведеться кримінальне провадження, в ході якого вже арештовані дев'ятеро людей [158].

Не є виключенням цьому відношенні і більш розвинені країни. Так, 15 серпня 2015 року в центрі Москви по вулиці Балчуг зруйнувалася новобудова багатоповерхівки на площі 50 кв.м.. В результаті обвалу перекриття між перших та другим поверхами, постраждали дві людини [71].

В Сургуті 6 березня 2014 року зруйнувалася новобудова «Газпром переробки» (Рис. 2.5). Обвалилося перекриття між четвертим та п'ятим поверхами. Під завалами рятувальники виявили трьох людей, двоє із них загинули. Не дивлячись на це, ЗМІ не повідомили жодної інформації з приводу відкриття кримінального провадження, або ж про початок роботи слідчої комісії на місці інциденту [70].

У 2012 році в Таганрозі відбулася аварія при будівництві житлового будинку. В результаті обвалу загинуло 5 людей, 14 поранені. Будівля обвалилася під час ведення будівельних робіт на четвертому поверсі, тоді як по проекту будівля являлася трьохповерховою. В ході експертизи було

виявлено велику кількість помилок при будівництві даного об'єкту, що підтверджує висновок про те, що будинок зводився абсолютно безконтрольно.



Рис. 2.5. Обвалення новобудови в Сургуті, 2014 рік

На думку слідства, причиною обвалу стали незаконно виданий дозвіл на будівництво, перевищення параметрів дозволеного будівництва, а також порушення правил безпеки при веденні будівельних робіт. Крім цього, слідству стало відомо, що замісник Голови Адміністрації міста був обізнаний у всіх цих порушеннях, але не вжив жодних заходів щодо припинення будівництва [100].

В Єгипті аварії до моменту прийняття об'єкта в експлуатацію не рідкість. Будівельники найчастіше всього не дотримуються будівельних норм, перевищуючи допустиму кількість поверхів, або економлячи на якості матеріалів. Іноді будівництво ведеться взагалі без дозволу державних органів та управлінь [149].

В листопаді 2012 року в Александрії, Єгипет, 10 людей загинули при обваленні багатоповерхівки, що знаходилася в процесі будівництва. Пізно ввечері одинадцятиповерхова будівля обвалилася на сусідні будинки. Всі загиблі та поранені – мешканці цих будинків [149].

Показовим прикладом слугує аварія, яка відбулася 16 січня 2013 року в єгипетській Александрії, де зруйнувався восьмиповерховий житловий будинок. Рятівники вивільнили з-під завалів 25 тіл, були знайдені 15 поранених. Як заявив губернатор Александрії, будівництво велося без необхідних документів, муніципальна влада не видала компанії-забудовнику ліцензії на будівництво [59].

Гостроту висвітленої проблеми можна чітко уявити, якщо дослідити всесвітню інформаційну мережу. Лише за один день по всьому світу відбулися аварії будівель при їхньому зведенні, у результаті чого загинули та постраждали люди.

Наприклад, 5 вересня 2016 року о 13 годині прес-служба поліції Ізраїлю сповістила про обвалення будівлі в Тель-Авіві (Рис. 2.6), яка знаходилася на етапі будівництва, у результаті чого двоє людей загинули і ще п'ятеро пропали безвісти. Причиною аварії став пересувний підйомний кран, який заїхав на дах багатоповислової парковки на вулиці ха-Барзель в Тель-Авівському районі Раматха-Хаяль, обвалив частину будівлі, що не витримала вагу величезної машини [107].



Рис. 2.6. Руйнування будинку в Тель-Авіві, Ізраїль, вересень 2016 року

В цей же день, о 17 годині, прес-служби РІА VistaNews сповістили про обвалення недобудованого житлового будинку на Уралі (Рис. 2.7), в результаті чого серйозно травмований один із робочих. Інцидент відбувся в

Свердловській області. За попередньою інформацією робітники проводили демонтаж будівельних конструкцій недобудованого житлового будинку. Під час цих робіт перекриття одного з поверхів не витримало навантаження й обвалилося на робочого. На місці аварії працювала комісія, яка в терміновому порядку надала правову оцінку інциденту [100].

Так як за графіком стадій роботи конструкції (Рис. 2.3), очевидно, що ймовірність виникнення аварійної ситуації в період будівництва об'єкту та при здачі його в експлуатацію досить висока, на підставі зібраної інформації доцільно провести статистичний аналіз на прикладі найбільш масштабних аварій будівель, які відбулися під час будівництва в період із 2009 по 2022 рік.



Рис. 2.7. Руйнування недобудованого житлового будинку, Урал, вересень 2016 року

Для більш детального дослідження даного питання був проведений збір та аналіз інформації з питання аварій у будівництві новозбудованих об'єктів. У процесі роботи також було проведено ознайомлення із науковими працями щодо статистики аварій та їхньої типізації. Спираючись на отриману інформацію, аварії новобудов були ретельно проаналізовані та систематизовані у вигляді таблиці. Перелік аварій охоплює проміжок у часі 2003 – 2022 роки (Табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Аварії будівель та споруд під час будівництва

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій	Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
1	02.05.03	м. Москва, Росія	Обвалення конструкцій торговельного центру	R1 Недотримання норм при будівництві	B3 Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	Немає жертв
2	27.04.09	м. Стамбул, Турція	Руйнування чотирьохповерхової будівлі ТРЦ.	R1 Недотримання норм при будівництві	B3 Громадська будівля	Колона	Не визначено	Немає жертв
3	28.04.09	м. Баку, Азербайджан	Обвалення готелю, що знаходився в процесі будівництва.	R2 Помилки проектувальників	B3 Громадська будівля	Колона	Не визначено	3 людини
4	27.06.09	м. Шанхай, Китай	Руйнування недобудованої тринадцятиповерхової споруди	R2 Помилки проектувальників	B1 Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	1 людина

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
5	16.08.09	м. Дубаї, ОАЕ	Руйнування споруди, що знаходилася в процесі будівництва, і була практично готова до здачі	R2	Помилки проектувальників	B5	Будівельна споруда	Колона	Дії будівельників	Жертв немає
6	07.10.09	Республіка Бурунді, Африка	Обвалення недобудованої споруди	R2	Помилки проектувальників	B5	Будівельна споруда	Колона	Дії будівельників	14 загинуло, більш 40 постраждали
7	10.02.10	м. Сіань, Китай	Обвалилася чотирьохповерхова споруда, що знаходилася в процесі будівництва.	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Колона	Дії будівельників	10 людей травмовані
8	01.09.12	м. Пуна, Індія	Обвалилася будівля на етапі будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загинуло 6 людей
9	01.11.12	м. Александрія, Єгипет	Обвалення багатоповерхівки при будівництві.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загинуло 10 людей.

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
10	01.12.12	м. Вагхоли, Індія	Зруйнувався недобудований житловий будинок.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загинуло 13 людей
11	13.12.12	м. Таганрог, Росія	Аварія при будівництві житлового будинку.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загинули 5 людей, 14 поранено
12	07.01.13	м. Санкт-Петербург	Обвалення стіни житлової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
13	11.01.13	м. Владимир, Росія	Обвалення перекриттів стелі в дитсадку	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
14	16.01.13	м. Александрія, Єгипет	Зруйнування восьмиповерховий будинок.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	25 загинуло, 15 поранені
15	12.02.13	м. Санкт-Петербург, Росія	Обвалення стіни будівлі Військової академії зв'язку імені Будьоного	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
16	13.02.13	м. Суми, Україна	Руйнування будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1 Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Немає жертв
17	12.03.13	м. Санкт-Петербург, Росія	Обвалення стелі житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B1 Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
18	29.03.13	м. Дар-Ес-Салам, Танзанія	Руйнування 12-поверхової недобудованої будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1 Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Загинули 36 чоловік
19	06.04.13	с. Пача Кемеровської області, Росія	Обвалення конструкції, яка не експлуатувалася	R1	Недотримання норм при будівництві	B1 Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Одна людина загинула
20	10.04.13	м. Іркутськ, Росія	Обвалення бетонної плити	R1	Недотримання норм при будівництві	B1 Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Дві людини загинули і одна постраждала
21	12.05.13	м. Южно-Сахалінськ, Сахалінська область, Росія	Руйнування підвісної стелі в холі торгівельно-розважального комплексу «Панорама»	R2	Помилки проектувальників	B3 Громадська будівля	Покриття	Дії будівельників	Евакуйовані 43 людини

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
22	04.06.13	м. Мумбаї, Індія	Обвалилася семиповерхова житлова будівля.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	71 людина загинули
23	06.07.13	м. Пермь, Росія	Обвалення стіни будівлі під час реконструкції	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Дві людини постраждали
24	08.07.13	м. Москва, Росія	Обвалення будівлі магазину під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
25	14.07.13	м. Самара, Росія	Часткове обвалення стіни житлової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
26	16.07.13	м. Новосибірськ, Росія	Руйнування покрівлі будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Дві людини постраждали
27	26.07.13	п. Ільч Краснодарського краю, Росія	Обвалення стіни занедбаного господарської будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Дві людини загинули, одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
				R1		V4				
28	07.08.13	м. Комунар, Росія	Обвалення стіни на території металобазу	R1	Недотримання норм при будівництві	V4	Промислова будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
29	11.08.13	м. Челябінск, Росія	Обвалення двоповерхової будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	V1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Три людини загинули і один постраждав
30	27.08.13	м. Новосибірськ, Росія	Руйнування перекриття будинку під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	V1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Дві людини постраждали
31	13.09.13	с. Ногир, Північна Осетія, Росія	Руйнування покрівлі будівлі під час будівництва спортивної школи	R1	Недотримання норм при будівництві	V3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	П'ять чоловік постраждали
32	17.09.13	м. Оренбург, Росія	Обвалення бетонних перекриттів будівлі диспансеру	R1	Недотримання норм при будівництві	V3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
33	20.09.13	Пос. Київський, Україна	Падіння кабіни ліфту	R1	Недотримання норм при будівництві	V5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	Одна людина загинула

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
34	22.09.13	м. Єкатеринбург, Росія	Обвалення стіни будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
35	14.10.13	м. Єкатеринбург, Росія	Обвалення другого поверху торгового центру під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
36	15.10.13	м. Курган, Росія	Обвалення стіни приватного житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B2	Житлова одноповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала
37	18.10.13	м. Тюмень, Росія	Руйнування частини цегляного облицювання житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
38	23.10.13	м. Кіров, Росія	Обвалення дерев'яного настилу між несучими балками житлової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
39	24.10.13	м. Псков, Росія	Обвалення перекриття стелі трьох квартир в житловому будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Дві людини постраждали
40	25.10.13	м. Томськ, Росія	Обвалення частини стіни будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина постраждала
41	30.10.13	село Покровське, Ростовська область, Росія	Руйнування даху двоповерхової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Дві людини постраждали
42	09.11.13	м. Балашиха, Московська область, Росія	Руйнування залізобетонної стіни	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
43	12.11.13	м. Москва, Росія	Руйнування більш ніж 100 кв м. покрівлі будівлі	R2	Помилки проектувальників	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
44	13.11.13	м. Аксай, Ростовська область, Росія	Обвалення даху будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Десять чоловік постраждали

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
45	13.11.13	м. Раменське, Московська область, Росія	Обвалення торговельного центру під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	Дві людини загинули
46	08.12.13	м. Красноярськ	Руйнування стіни в будівлі лікарні	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
47	10.12.13	м. Якутськ, Росія	Часткове руйнування будинку під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
48	11.12.13	м. Новосибірськ, Росія	Обвалення стіни будівлі під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
49	22.12.13	село Красне, Обуховський район, Київська область, Україна	Обвалення приватного будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B2	Житлова одноповерхова	Покриття	Дії будівельників	Одна людина загинула, двоє постраждали
50	25.12.13	м. Москва, Росія	Часткове обвалення стелі складу	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
51	26.12.13	м. Нижній Новгород, Росія	Обвалення частини торгового-центра під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	V3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	Одна людина постраждала
52	28.12.13	м. Іваново, Росія	Обвалення перекриття стелі житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	V1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
53	29.12.13	м. Северодвинск, Росія	Обвалення конструкції комбінату. Площа руйнування склала близько 300 кв метрів.	R1	Недотримання норм при будівництві	V4	Промислова будівля	Колона	Дії будівельників	Одна людина загинула
54	12.01.14	м. Москва, Росія	Обвалення частини карнизу житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	V1	Житлова багатоповерхова	Інші	Дії будівельників	Одна людина постраждала
55	23.01.14	дер.Мар'їно, м.Москва, Росія	Падіння крану	R1	Недотримання норм при будівництві	V5	Будівельна споруда	Перекриття	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій	Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки		
56	25.01.14	м. Салехард, Росія	Руйнування стелі в будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дії будівельників	Одна людина загинула
57	26.01.14	м. Ульяновськ, Росія	Обвалення траншеї будівельної площадки «Запад-1»	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	Три людини загинули
58	29.01.14	м. Оренбург, Росія	Обвалення бетонної плити під час будівництва торговельного комплексу	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала
59	16.02.14	м. Москва, Росія	Обвалення в тунелі метрополітену	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
60	19.02.14	пос. Пиндуши, Карелія, Росія	Руйнування одноповерхової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B2	Житлова одноповерхова	Покриття	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
61	20.02.14	м. Бийськ, Алтайський край, Росія	Обвалення стіни будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала
62	20.02.14	м. Белорецьк, Республіка Башкортостан, Росія	Обвалення навісної стелі в гімназії	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
63	21.02.14	м. Москва, Росія	Руйнування стіни промислової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B4	Промислова будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина постраждала
64	25.02.14	пос. Билимбай, Первоуральський Свердловська область, Росія	Обвалення даху двоповерхового барака	R2	Помилки проектувальників	B2	Житлова одноповерхова	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
65	28.02.14	м. Мурманськ, Росія	Обвалення конструкцій в недобудові	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Одна людина постраждала
66	03.03.14	м. Санкт-Петербург, Росія	Обвалення балки на ділянці Московського шосе	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
67	05.03.14	м. Саратов, Росія	Обвалення підвалу житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Фундамент	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
68	19.03.14	пос. Печенга, Мурманська область, Росія	Обвалення перекриття стелі центральної районної лікарні	R2	Помилки проектувальників	B3	Громадська будівля	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
69	27.03.14	Намський район, Республіка Саха, Росія	Часткове обвалення прибудови котельні дитсадка	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Одна людина постраждала
70	14.04.14	м. Архангельск, Росія	Руйнування конструкцій громадсько-ділового центру, який знаходився на стадії будівництва Обвалення будівельних конструкцій у процесі заливки бетону	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	Одна людина постраждала

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій	Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки		
71	16.04.14	село Сива, Пермський край, Росія	Обвалення будівлі РАГСу	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Одна людина загинула
72	20.04.14	м. Москва, Росія	Обвалення стіни м'ясокомбінату	R1	Недотримання норм при будівництві	B4	Промислова будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
73	21.04.14	м. Оренбург, Росія	Руйнування частини стіни будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула
74	22.04.14	м. Нижній Новгород, Росія	Руйнування фасаду будівлі медакадемії	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
75	23.04.14	м. Санкт-Петербург, Росія	Руйнування стіни торгового центра	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула і одна людина постраждала
76	25.04.14	м. Городок, Росія	Руйнування стіни будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина загинула

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
77	04.05.14	м. Пенза, Росія	Обвалення конструкції стелі в великому торговельно-розважальному центрі.	R1	Недотримання норм при будівництві	V3	Громадська будівля	Покриття	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
78	14.05.14	м. Вітебськ, Росія	Обвалення цегляної стіни оглядової ями гаражу	R1	Недотримання норм при будівництві	V5	Будівельна споруда	Несуча стіна	Дії будівельників	Одна людина постраждала
79	03.06.14	м.Сургут, Хантійський автономний округ, Росія	Обрушення бетонного перекриття в офісній будівлі, що знаходилася на стадії будівництва Обвал міжповерхового перекриття новобудови	R1	Недотримання норм при будівництві	V3	Громадська будівля	Перекриття	Дії будівельників	Дві людини загинули і одна людина постраждала
80	03.07.14	пос.Формальний Кинельський район, Росія	Руйнування водонапірної башти	R1	Недотримання норм при будівництві	V5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
81	05.08.14	м. Ростов-на-Дону, Росія	Обвалення балкону будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Інші	Дії будівельників	Одна людина постраждала
83	03.10.14	м. Находка, Приморський край, Росія	Обвалення навісу в порту	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Інші	Дії будівельників	Чотири людини загинули
84	02.11.14	м. Санкт-Петербург, Росія	Руйнування одного з історичних корпусів на вулиці Шпалерній	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Жертв та постраждалих немає
85	23.02.15	м. Черняховськ, Росія	Руйнування стіни недобудованого об'єкту, будівництво якого було призупинене.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Порушення норм експлуатації	Загинув
86	15.08.15	м. Москва, Росія	Обвал міжповерхових перекриттів новобудови в центрі міста	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	2 людини постраждали

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
				R1	B1	B1	B1			
87	09.05.16	м. Тель-Авіва, Ізраїль	Зруйнована будівля під час будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	2 загинули
88	09.05.16	м. Урал, Росія	Обвал перекриття недобудованого житлового будинку	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	1 травмований
89	13.11.17	м. Саранськ, Росія	Руйнування недобудованого об'єкта	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	2 людини загинуло, 3 травмовані
90	19.11.17	м. Київ, Україна	Руйнування будівлі в процесі будівництва. Обвалилася конструкція перекриття.	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	Немає жертв

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
91	12.01.18	п. Вишневе, Україна	Руйнування даху спортивного зала під сніговим навантаженням	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Покриття	Дії будівельників	Ніхто не постраждав, встигли вивести дітей почувши дивне потріскування в будівлі
92	13.01.20	м. Анапа, Росія	Руйнування РАГС у процесі будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
93	26.08.20	м. Сеул, Північна Корея	Займання недобудованого складу.	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Інші	Вибух	38 загинуло
94	21.09.20	м. Чунджа, Казахстан	Обвалення одного з блоків спортивного комплексу, що будується	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
95	07.01.21	м. Вашингтон, США	Руйнування недобудованої будівлі на етапі будівництва	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	декілька людей травмовані

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
96	23.01.21	м. Київ, Україна	Руйнування будівельних конструкцій на території будівництва у 3-поверховій будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Немає жертв
97	04.02.21	м. Астрахань, Росія	Руйнування покрівлі ангара	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Покриття	Дії будівельників	2 загинуло
98	06.03.21	м. Вороніж, Росія	Обвал бетонних перекриттів недобудованої будівні	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Дії будівельників	2 дітей загинуло
99	17.07.21	м. Фуцзянь, Китай	Руйнування готелю Four Seasons Kaiyuan	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	17 загинуло, 23 поранено
100	17.07.21	м. Фуцзянь, Китай	Обвалення будівлі, що будується	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	8 загинуло

Продовження таблиці 2.4

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки	
101	18.07.21	м. Антверпен, Бельгія	Обвалення будинку початкової школи	R1	Недотримання норм при будівництві	B3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	6 загинуло, 8 поранено
102	05.11.21	м. Лагос, Нигерія	Обвалення 21-поверхової будівлі	R1	Недотримання норм при будівництві	B5	Будівельна споруда	Колона	Дії будівельників	43 загинуло
103	11.01.22	м. Кванчжу, Южная корея	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхового, багатоквартирного дому	R1	Недотримання норм при будівництві	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	6 загинуло

2.3. Аварії будівель та споруд потребуючих ремонтних робіт.

При дослідженні аварій будівель та споруд неможливо не оминати аварії, що відбулися по причині великого віку об'єкта, або внаслідок невиконання своєчасних ремонтних робіт у будівлях, які цього потребували [143].

Наочним прикладом невідповідного догляду за будівлями може слугувати споруда історичного значення – Кадетський корпус, м. Полтава, Україна (Рис. 2.8).



Рис. 2.8. Вигляд Кадетського корпусу в м. Полтава на теперішній час, та в ХІХ ст.

Дана будівля споруджена у 1840 році, на даний момент є неробочою та знаходиться у напівзруйнованому стані. Реконструкція даного об'єкта не проводиться, тому будівля не придатна до експлуатації, що в подальшому може призвести до чергової аварії в будівництві.

У Кадетського корпусу, протиаварійні роботи завершилися на етапі демонтажу покрівлі через відсутність державного фінансування. З серпня 2019 року він перебуває на балансі ДСА. Протиаварійні роботи на даху, з відновленням куполу, оцінюють у близько 30 млн грн, а загалом реставрація обійдеться у понад 200 млн грн. До того ж такі випадки не поодинокі, і на жаль, досить розповсюджені на території України. На даний час будівля увійшла до рейтингового списку президентської програми «Велика реставрація» увійшли чотири проекти, які стосуються відновлення історичних будівель у Полтавській області (за даними Мінкультури та інформполітики України).

Наведемо приклади аварій даного типу. А саме, в січні 2010 року в Тбілісі, Грузія, відбулося одразу дві аварії. Спочатку обвалилася несуча стіна жилого трьохповерхового будинку, через день – несучі конструкції двоповерхового. В обох випадках будівлі знаходилися в аварійному стані. Слід відмітити те, що протиаварійні заходи до обвалу не проводилися. На щастя, жертв немає [85].

26 жовтня 2010 року в Кіровській області, Советськ, частково зруйнувалася житлова будівля. Обвалилася несуча стіна, а слідом за нею сходові марші та міжповерхові перекриття. Довоєнний будинок потребував капітального ремонту, засоби на ремонт виділялися недостатньо. Люди в результаті аварії не постраждали [154].

Також на підставі опрацьованого матеріалу була створена таблиця аварій та споруд потребуючих ремонтних робіт (Табл. 2.5).

Таблиця 2.5

Аварії будівель та споруд потребуючих ремонтних робіт

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
				R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова			
1	01.01.10	м. Тбілісі, Грузія	Обвалилася несуча стіна жилого трьохповерхового будинку.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
2	21.03.10	м. Одеса, Україна	Зруйноване крило аварійного флігеля будинку. Будинок був визнаний аварійним. Мешканці були виселені.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
3	26.11.10	м. Советск, Росія	Частково зруйнований житловий будинок. Обвалилася несуча цегляна стіна, а слід за нею сходові марші та міжповерхові перекриття. Будівля потребувала капітального ремонту.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
4	10.03.11	м. Барлетта, Італія	Обвалення трьохповерхового будинку, який знаходився в аварійному стані.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Фундамент	Дії будівельників	Загинуло 4 людей
5	02.11.11	м. Луксор, Єгипет	Зруйнована семиповерхова споруда, яка знаходилася в аварійному стані.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	15 загинуло, 20 постраждало

Продовження таблиці 2.5

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
6	15.01.12	м. Бейрут, Ліван	Обвалилася п'ятиповерхова будівля.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дощ	27 загинуло, 12 поранені
7	14.07.12	м. Александрія, Єгипет	Обвалилося незаселена аварійна споруда на чотири розміщені поруч малоповерхові будівлі.	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	15 поранені
8	26.12.19	м. Іркутськ, Росія	Демонтаж аварійної будівлі	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	1 загинув, 2 постраждали
9	09.07.20	м. Коїмбатор, Індія	Обвалення одноповерхової будівлі	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дощ	3 загинуло, 6 поранено
10	31.08.20	м. Бхопал, Індія	Обвалення старої будівлі	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Покриття	Дощ	Немає жертв
11	28.12.20	м. Кривий Ріг, Україна	Руйнування перекриття між першим поверхом та підвалом двоповерхової неексплуатованої будівлі	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Перекриття	Порушення норм експлуатації	2 загинуло
12	11.02.21	м. Одеса, Україна	Обвалення фасадної стіни та даху старовинної будівлі колишньої фабрики морозива Полярна зірка	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B4	Промислова будівля	Покриття	Дії будівельників	Немає жертв

Продовження таблиці 2.5

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйнова-ні конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
13	01.03.21	м. Одеса, Україна	Обвалення прибуткового будинку Стрітенської церкви 1879 побудови	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Порушення норм експлуатації	Немає жертв
14	04.07.21	м. Барнаул, Росія	Руйнування частини стіни двоповерхового житлового будинку	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	немає жертв
15	19.07.21	м. Львів, Україна	Обвалення стіни нежитлого дому	R4	Великий вік об'єкту, не проведення ремонтних робіт	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Порушення норм експлуатації	1 загинув
16	05.12.21	м. Санкт-Петербург, Росія	Обвалення фасаду будівлі	R4, R5	Великий вік об'єкту, некоректна реконструкція	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Порушення норм експлуатації	немає жертв

2.4. Аварії без встановлених причин та спричинені природними факторами

До аварій, причини яких не були встановлені, але у результаті яких були від одного до десятків постраждалих належить обвал п'ятиповерхового жилого будинку 4 серпня 2011 року в пакистанському портовому місті Карачі, де загинуло 29 осіб [149] та обвал трьохповерхового житлового будинку 25 жовтня 2009 року в місті Пальма-де-Майорка, Іспанія. Під обломками споруди загинуло п'ять чоловік та два отримали поранення різного ступеня тяжкості [86].

10 червня 2012 року в Луцьку, Україна, обвалилася п'ятиповерхова житлова будівля (Рис. 2.9) – зруйнувалися несучі стіни з першого по п'ятий поверх між першим та другим під'їздом. Рятівники визволили із будівлі 18 людей. У результаті трагедії дві людини загинули та одна постраждала [149].

У районах із складними кліматичними умовами висока вірогідність будівельної аварії, тому до спорудження об'єктів вимоги встановлюються більш жорсткі. Але й убезпечити споруду від можливої повені, або інших катаклізмів досить важко.



Рис. 2.9. Обвалення житлової будівлі, м. Луцьк, Україна, 2012 рік

Але до таких аварій також відносять аварії, які відбулися через помилки при проектуванні, як наприклад у січні 1978 року в місті Харфорд (штат Коннектикут, США) через перевантаження снігом в міському центрі, де вдень проводився хокейний матч, в ніч з висоти 30 м обвалилося перекриття спортивної арени розмірами 92 на 110 м (Рис. 2.10). Розслідування виявило помилки в розрахунках проектувальників [145].

Також такого типу аварії трапляються через несвоєчасний ремонт, як наприклад 15 січня 2012 року в Бейруті, Ліван, де обвалилась п'ятиповерхова будівля. Причиною обвалення стали тріщини, що утворилися в результаті проливних дощів. 27 людей загинуло, 12 поранені [149].



Рис. 2.10. Обвал перекриття спортивної арени в місті Хартфорд (США), 1978 рік

Першого грудня 2018 року в школі № 4 у Вишневому, Україна, впас дах спортзалу (Рис. 2.11). В залі тоді перебувало 30 дітей.

Після обвалу даху спортзалу в школі у Вишневому були затримані директор фірми, яка виступила генеральним підрядником, виконроб і підприємець, який здійснював технагляд при будівництві. Про це повідомила прес-служба поліції Київської області [147].

Поліція розслідувала кримінальне провадження за двома статтями Кримінального кодексу України – порушення правил, що стосуються безпечного використання промислової продукції або безпечної експлуатації

будівель і споруд (ч. 1 ст. 275), а також привласнення, розтрата майна або заволодіння ним шляхом зловживання службовим становищем (ч. 5 ст. 191).



Рис. 2.11. Обвал даху спортзалу, м. Вишневе, Україна, грудень 2018

У процесі розслідування міністр молоді та спорту України Ігор Жданов на своїй сторінці в Facebook, повідомив наступну інформацію: *«Через сніг обвалився дах недавно побудованого спортивного комплексу у Вишневому. На щастя, ніхто не постраждав. Завдяки швидкій реакції тренерів, спортсменів, які саме в цей час займалися художньою гімнастикою, встигли евакуюватися з приміщення»* [99].

2.5. Аварії під час експлуатації будівель та при реконструкції будівель та споруд.

Аварії під час експлуатації будівель можуть виникати через низку причин, починаючи від помилок проектувальників, невідповідним будівництвом та халатністю, до неправильної самої експлуатації та порушенні норм та правил реконструкції.

Беручи до уваги широкий спектр варіації факторів виникнення такої аварії, необхідно проводити ретельне розслідування їх причин.

Досить вичерпним прикладом може слугувати аварія у Дрогобичі Львівської області, де у ніч з 28 серпня 2019 року обвалився під'їзд чотириповерхового житлового будинку (Рис. 2.12). У результаті інциденту загинуло вісім осіб. Причиною аварії стало руйнування опорної стіни в підвалі будинку. Так як будівля знаходилася на етапі експлуатації, експерти назвали першим чином можливі причини руйнування будівлі, а саме: використання неналежної якості розчину та цегли та невиконання гідроізоляції підлоги, у результаті чого опорна стіна в підвалі просіла та зруйнувалася, а також зміна конструкції після здачі будівлі в експлуатацію [102].



Рис. 2.12. Обвал будинку у Дрогобичі

Серед аварій спричинених некоректною експлуатацією також розповсюджені випадки вибуху побутового газу, як наприклад, руйнування будівлі в Магнітогорську, Росія 1 січня 2019 року. У результаті вибуху семеро людей загинуло (Рис. 2.13). У результаті вибуху зруйнувалися перекриття з 3 по 10 поверхи над аркою між 6 та 7 під'їздами. Вибух газу відбувся на другому поверсі під аркою. Саме обвалення будівлі відбулося через добу після пролунавшого вибуху [106].



Рис. 2.13. Обвалення житлової будівлі в Магнітогорську

У результаті проведеного дослідження було створено таблицю, де показані приклади випадків аварій та споруд за останні роки з наявною інформацією з приводу їх руйнування, місця і причини інциденту, а також кількості постраждалих (табл. 2.6).

За останні декілька років випадки аварій під час реконструкції будівель та споруд значно збільшилися. Роботи в багатьох випадках проводяться некоректно, застосовуються неякісні матеріали, також не виключена халатність при реконструкції.

29 січня 2010 року в Гонконгу обвалилася житлова будівля (Рис. 2.14). Будинок був збудований більш ніж півсторіччя тому. Відомо, що на першому

поверсі будівлі проводилися ремонтні роботи. Одна людина загинула, четверо вважаються зниклими безвісти [85].

1 вересня 2010 року, в Санкт-Петербурзі, на Ліговському проспекті, 145 обвалилися перекриття восьмиповерхового будинку (Рис. 2.15). Обвал почався з даху, а закінчився в підвальному приміщенні [75].



Рис. 2.14. Обвалення житлової будівлі в Гонконгу, 2010 рік



Рис. 2.15. Обвал перекриття восьмиповерхового будинку в Санкт-Петербурзі, 2010 рік

Таблиця 2.6

Аварії будівель та споруд при реконструкції

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій		Типи будівлі		Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
1	10.03.09	м. Прага, Чехія	Чотирьохповерховий будинок, в період реконструкції. Три поверхи зруйновані.	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Перекрыття	Дії будівельників	Немає жертв
2	15.06.09	м. Красноярськ, Росія	Обвалилися прольоти чотирьохповерхової офісної будівлі, що перебувала на реконструкції	R5	Некоректна реконструкція	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Загинуло 3 людини
3	22.07.09	м. Астрахань, Росія	П'ятиповерховий будинок гуртожитку. Обвал двох під'їздів.	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	Загинули 2 людини
4	09.01.10	м. Санкт-Петербург, Росія	Восьмиповерховий будинок. Обвалилися перекрыття.	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Перекрыття	Дії будівельників	Декілька постраждалих
5	29.01.10	м. Гонконг, Китай	Житловий будинок, збудований більше півсторіччя тому. Повне руйнування	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загинуло 5 людей
6	16.03.10	м. Харків, Україна	Будівля, що примикала до готелю «Харків».	R5	Некоректна реконструкція	B3	Громадська будівля	Колона	Дії будівельників	Немає жертв

Продовження таблиці 2.6

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій	Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки		
7	26.06.11	м. Сіянью, Китай	П'ятиповерховий будинок.	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	Загибло 7 чоловік
8	02.01.12	м. Думьят, Єгипет	Трьохповерховий будинок.	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Колона	Дії будівельників	35 людей загинуло, є поранені
9	31.01.20	м. Санкт-Петербург, Росія	Руйнування при демонтажу спортивного комплексу	R5	Некоректна реконструкція	B5	Будівельна споруда	Інші	Дії будівельників	1 загинув
10	18.03.21	м. Рибник, Польща	Обвалилися три поверхи старовинного відреставрованого будинку	R5	Некоректна реконструкція	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
11	18.04.21	м. Москва, Росія	Обвалення фасаду банку	R5	Некоректна реконструкція	B3	Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	немає жертв
12	27.04.21	м. Калуга, Росія	Обвалення фасаду житлової будівлі	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Порушення норм експлуатації	немає жертв
13	24.06.21	м. Майами, США	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхового, багатоквартирного дому	R5	Некоректна реконструкція	B1	Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	2 загинуло

Продовження таблиці 2.6

№	Дата	Місто	Подія/тип будівлі	Причини аварій	Типи будівлі	Зруйновані конструктивні елементи	Фактори впливу на конструкцію	Примітки
14	06.08.21	Челя- бінськ, Росія	Обвалення стіни будівлі	R5 Некоректна реконструкція	B1 Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Не визначено	
15	10.08.21	м. Сімферополь, Україна	Обвалення історичної будівлі у якій проводилася реконструкція	R5 Некоректна реконструкція	B3 Громадська будівля	Несуча стіна	Дії будівельників	Немає жертв
16	09.10.21	м. Батумі, Грузія	Обвалення будинку при проведенні ремонтних робіт на першому поверсі	R5 Некоректна реконструкція	B1 Житлова багатоповерхова	Несуча стіна	Дії будівельників	6 загинуло

2.6. Аварії споруд підвищеної небезпеки. Резервуари

2.6.1. Історичний досвід аварій споруд підвищеної небезпеки.

Питанням причин аварій об'єктів підвищеної небезпеки займалися протягом десятків років, але необхідність вдосконалення статистики аварій та методології обробки даних постає і на наш час. Причиною цього слугує ряд аварій, у результаті яких були загиблі та поранені, а компанії несли колосальні економічні збитки.

Так, у Севезо, Італія, 10 липня 1976 року система контролю хімічного реактора для виробництва трихлорфенолу, компонента кількох гербіцидів, була пошкоджена, і температура піднялася за допустимі межі (Рис. 2.16). Вибуху реактора вдалося уникнути відкриттям запобіжних клапанів, але досягнута висока температура спричинила зміну реакції, що призвело до масового утворення 2,3,7,8-тетрахлородібензо-р-діоксину (TCDD). Ця речовина, відома як діоксин, є високотоксичною сполукою. Дана подія стала всесвітньо відома як катастрофа «Севезо», оскільки Севезо - назва сусіднього муніципалітету, який зазнав найбільш серйозних наслідків [27].

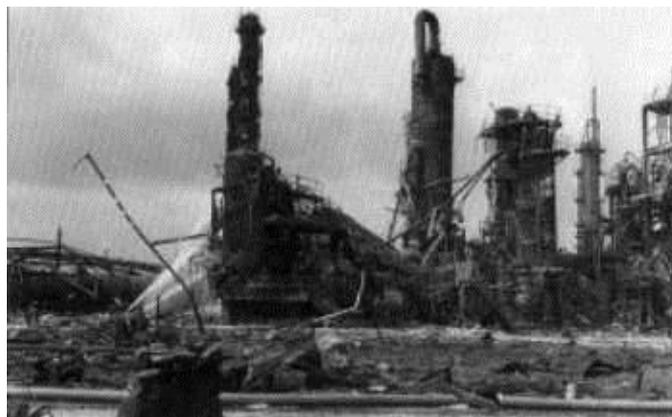


Рис. 2.16. Катастрофа у Севезо, Італія, 1976 рік

Катастрофічна аварія в Севезо (Італія) призвела до прийняття законодавства Європейського союзу, спрямованого на запобігання нещасних випадків у певних галузях промисловості з використанням небезпечних

речовин і, таким чином, обмеженні впливу на працівників, населення в цілому і на навколишнє середовище.

Результуючим стандартом була Директива 82/501 / ЕЕС [15], більш відома як Seveso I. Ця нормативна база встановила, що компанія-виробник, яка використовувала в своєму процесі небезпечні речовини, перераховані в Додатку А, або зберігала небезпечні речовини, перераховані в Додатку В, або в обох Додатках, повинна розробити (серед інших документів) плани внутрішньої і зовнішньої захисту та плани дій в надзвичайних ситуаціях, які включають оцінку ризику.

Під час впровадження Seveso I в Європі сталося понад 130 серйозних аварій, і в результаті технологічних досягнень з'явилися нові ризики. Отже, Європейська комісія представила Директиву 96/82 / ЕС (названу Директивою Seveso II) в 1996 році. Ця директива класифікувала ризики як «незначні», «низькі ризики» і «високі ризики» в залежності від кількості небезпечних речовин. Seveso II був переглянутий в Директиві 2012/18 / EU або Seveso III з метою підвищення рівня захисту людей, майна та навколишнього середовища.

В Іспанії в 2016 році, згідно з даними Генерального директорату з цивільної оборони [139], відповідно до директиви Seveso було 422 об'єкта з високим рівнем ризику і 470 об'єктів з низьким рівнем ризику. Географічний розподіл схожий з розподілом товарообігу: Каталонія була першою (23,9%), Андалусія (16,6%), Валенсійське співтовариство з (9,2%) і Країна Басків (6,6%).

Хімічна промисловість впровадила поліпшення в області безпеки процесу і захисту навколишнього середовища за допомогою чотирьох стратегій: більш безпечний дизайн; процеси оцінки ризиків; використання інструментальних систем безпеки; і впровадження систем управління безпекою. Для забезпечення безпеки використовується метод HAZOP, який найбільш придатний для виявлення ризиків [8]. Дослідження HAZOP розвивалися з Imperial Chemical Industries (ICI) як метод «критичного

дослідження», сформульований в середині 1960-х років. Через десятиліття HAZOP був офіційно опублікований як дисциплінована процедура для виявлення відхилень в обробній промисловості Клетцем в 1978 році [44], а також в деяких публікаціях [26], корпоративних посібниках, стандартах (ІЕС 61882 [25]) і національних керівних вказівках (Nota Tecnica Prevenciyn (NTP) 238 [22]) були розроблені після.

Даний приклад використання системи забезпечення надійності об'єкта підвищеної небезпеки та високого рівня відповідальності у подальшому може бути використаний при розробці методики забезпечення надійності, а саме – при розробці алгоритму моделювання можливого виникнення аварії, для будівель різного типу призначення та рівня відповідальності.

2.6.2. Причини та наслідки аварій сталевих вертикальних резервуарів.

Ведучи мову про надійність сталевих вертикальних резервуарів забезпечується наступними параметрами [35, 128, 134]:

- характеристики перерізів основних несучих конструкцій, властивості сталі;
- якість зварних з'єднань;
- допуски при виготовленні та монтажі елементів конструкцій.

Відповідаючи всім стандартам та забезпечуючи надійність конструкції за нормативними документами, на наш час сталеві вертикальні резервуари виступають як одні із найбільш небезпечних промислових об'єктів. Це пов'язано рядом причини, таких як [89, 92]:

- велика протяжність зварних швів конструкції, яку досить важко та складно повністю контролювати;
- - висока пожежовибухо-небезпечність продукції яка зберігається;
- - недосконалість геометричної форми, що виникають ще на стадії гідровипробувань резервуарів;
- - значні переміщення стінки резервуара як в процесі експлуатації, так і в процесі виконання технологічних операцій;

- - висока швидкість корозії елементів конструкції;
- - малоциклова втома окремих зон конструкції;
- - складний характер навантаження конструкції в зоні уторного шва.

[33]

Аварії резервуарів призводять до важких матеріальних, екологічних та соціальних наслідків. Серед основних наслідків аварій можна виділити наступні:

- повне або часткове руйнування самого аварійного резервуару, а також інших близько розташованих резервуарів, будівель і споруд;
- забруднення ґрунту і водних об'єктів нафтою і нафтопродуктами, а також забруднення атмосфери продуктами горіння;
- травмування та загибель людей.

За статистичними даними в екстремальних випадках матеріальний збиток від аварій резервуарів в 500 і більше разів перевищує початкові витрати на їх спорудження [91].

На основі проведених досліджень була створена таблиця 2.7 статистики аварій сталевих вертикальних резервуарів. Дані вишукувалися за допомогою інтернет джерел, наукових публікацій та інших ресурсів масової інформації (Рис. 2.17).



Рис. 2.17. Аварія на виноробному підприємстві в Італії [45]

Статистика аварій сталевих вертикальних резервуарів за 2009-2022 рр

Номер	Рік	Дата	Країна	Місто
1	2018	17.08.2018	Росія	Муравленко
2	2018	30.10.2018	Росія	Югра
3	2006	28.08.2006	Індія	
4	2008	12.11.2008	США	Чесапек, штат Вірджинія
5	2014	09.05.2014	США	Каліфорнія
6	2015	17.04.2015	США	Колорадо
7	2017	08.05.2017	США	Колорадо
8	2017	25.05.2017	США	Північне Колорадо
9	2018	19.06.2018	США	Колорадо
10	2001	17.07.2001	США	Делавер
11	2018	26.06.2018	США	Канзас
12	2009	31.10.2009	США	Місісіпі
13	2016	11.07.2016	США	Нью-Мехіко
14	2018	18.08.2018	США	Південня Дакота
15	2017	17.10.2017	США	Техас
16	2017	27.12.2017	США	Техас
17	2018	03.01.2018	США	Техас
18	2018	28.08.2018	США	Техас
19	2018	16.03.2018	США	Вайомінг
20	2018	28.09.2018	Італія	Венето
21	2017	28.08.2017	Україна	Біла Церква
22	2017	16.02.2017	Германія	Оберхаузен
23	2010	26.12.2010	Росія	
24	2010	24.09.2010	Росія	
25	2010	23.04.2010	Росія	Тамурівський район
26	2010	28.03.2010	Росія	
27	2009	03.09.2009	Росія	Іркутська область

2.7. Висновки по розділу

Для розв'язання поставленої задачі дослідження, зібрані та проаналізовані статистичні дані аварій будівель та споруд за 2000-2021 рр. в обсязі 283 аварії.

Представлена статистична інформація аварій будівель та споруд у вигляді загальної таблиці, де вказуються дата виникнення інциденту, країна та місто, короткий опис руйнування, та, за наявності інформації, причини виникнення аварії. Інформація щодо аварій зібрана для різних типів будівель та споруд.

На основі зібраної інформації проведена класифікація аварій за типом будівлі, за причиною аварії та за стадією роботи конструкції.

Зібрано інформацію щодо аварій будівель та споруд на етапі будівництва та введення в експлуатацію, в обсязі 106 інцидентів. Приклади аварій здебільшого призвели до значних економічних втрат та десятків загиблих та поранених.

Представлено перелік аварій будівель та споруд потребуючих ремонтних робіт, обсягом 42 аварії та 26 руйнувань внаслідок порушення норм ведення реконструкції.

Також до статистики аварій були включені аварії без встановлених причин, так як у ході проведення збору інформації іноді виникали труднощі із доступністю інформації щодо інцидентів та аварій в будівельній сфері.

Досліджено аварії будівель та споруд спричинених природними факторами, але лише у випадках поодиноких руйнувань, коли можливо встановити причину руйнування будівлі із детальним описом сценарію аварії.

Для подальшої статистичної обробки даних та дослідження аварій було зібрано інформацію щодо аварій під час експлуатації будівель та споруд, обсягом 109 випадків, із детальним описом сценарію руйнування та встановленими його причинами.

Приділено увагу спорудам підвищеного рівня небезпеки класу

наслідків ССЗ (резервуари), приведена статистична таблиця, досліджено досвід попередників в питанні моделювання ризиків даних типів об'єктів.

Створена систематизована класифікація аварій будівель та споруд дає підстави для вирішення наступного завдання дисертаційної роботи – обробки результатів та створення відсоткових діаграм щодо виникнення аварії на будівельному об'єкті.

Зібраний матеріал є основою до проведення статистичного дослідження аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр, що ставить на меті визначення основних причин руйнувань будівельних конструкцій, дослідження частоти виникнення прогресуючого руйнування у результаті відмови будівельних конструкцій та особливостей факторів впливу на виникнення аварії. Дослідження даного матеріалу є основою розроблення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди, для забезпечення надійності об'єкта що проектується.

РОЗДІЛ 3

КЛАСИФІКАЦІЯ АВАРІЙ У БУДІВНИЦТВІ ЗА ІМОВІРНІСТЮ ЇХ ВИНИКНЕННЯ. ОБРОБКА ТА АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ ДАНИХ

3.1 Передумови створення класифікацій аварій за імовірністю їх виникнення

Для вирішення поставленої задачі створення єдиного робочого алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті була розроблена класифікація аварій за імовірністю їх виникнення на базі зібраних статистичних даних.

Вивчаючи питання статистики та характеристики аварій в будівництві ряд видатних дослідників вже протягом десятку років намагаються створити єдину обґрунтовану класифікацію такого типу. Але поставлена перед науковцями мета настільки необмежена в дослідженні, як і в методах її виконання [57, 58, 64, 85, 86].

Здебільшого ведення статистики аварій проводиться на даний момент найбільш очевидним способом, а саме – збирання аварій в табличній формі із вказаними причинами, кількістю постраждалих та датою інциденту. Якщо збір аварій охоплює міжнародну територію, в загальну таблицю додається інформація з приводу країни, де відбувся інцидент. Таку методику збирання інформації можна визначити як *загальну*. Вона дає змогу узагальнювати всі опрацьовані дані із різноманітних ресурсів та джерел, на основі чого можуть бути побудовані графіки аварійності об'єктів в залежності від обраних показників: аварії за типом будівлі, за конструкціями що зруйнувалася, місця (країни або міста), або кількості постраждалих людей.

Наступною частиною статистичного оброблення інформації є більш детальний поділ отриманої загальної таблиці за типом споруди за призначенням, яка зруйнувалася. Наприклад, типи аварій можна поділити на три складові: руйнування будівель і споруд на етапі зведення та прийняття в експлуатацію, при реконструкції об'єктів та аварії внаслідок великого віку будівлі. Класифікація саме за цими ознаками зумовлена високим рівнем їх

повторюваності в ході дослідження даного питання, із чого слідує, що вірогідність виникнення саме такої аварії найбільш висока.

На основі проведених досліджень створюються графіки та діаграми, які відображають отримані результати, за якими вже робляться остаточні висновки.

Прикладом узагальненої обробки даних слугує щорічна статистика аварій, створена компанією «Міський центр експертиз», яка була розглянута в другому розділі роботи [151]. Особливістю роботи цієї компанії є її прозорість та публічність результатів. Надана статистика за останні декілька років знаходиться у вільному доступі в Інтернет мережі, із складовими якої може ознайомитися кожен бажаючий. В той же самий момент до офіційної статистики, яка ведеться державними органами управління, доступу пересічним громадянам немає. Виходячи із цього, постає необхідність у вирішенні питання прозорості роботи комісій розслідування аварій будівель і споруд.

Можливість надання публічної інформації може стати суттєвим кроком у вирішенні питань аварій, які відбулися на етапі будівництва, так як розголос інцидентів та результатів робіт, проведених спеціальною комісією, стане великим поштовхом для виключення аварій певного типу.

При виконанні статистичної обробки даних з приводу аварій будівельних об'єктів, була виявлена проблема будівель великого віку, які знімаються із експлуатації, але в подальшому не демонтуються. На їх аварійність та найбільш високу вірогідність руйнування частіше за все увага владою не звертається. Результатом довготривалого демонтажу, а в більшості випадків, його повної відсутності, можуть стати людські життя.

3.2 Класифікація аварії за імовірністю їх виникнення

Підхід до опису аварії може бути розглянутий із її вірогідності. Тобто аварія може бути вірогідною, неможливою або випадковою (Рис. 3.1).

Це три фундаментальні ознаки, які дають змогу розмежувати можливість події. Тобто, створюється певна антиномія понять: хаос,

незакономірний ряд подій, – в даному випадку це будівництво об'єктів та їх експлуатація, - набуває закономірного порядку, лише в тому випадку, коли ми звужуємо коло статистичного відбору. Таким чином, переходячи від макро- до мікро досліджень, ми створюємо більш складну статистику, яка включає в себе чітке розуміння вірогідності, неможливості або випадковості події.

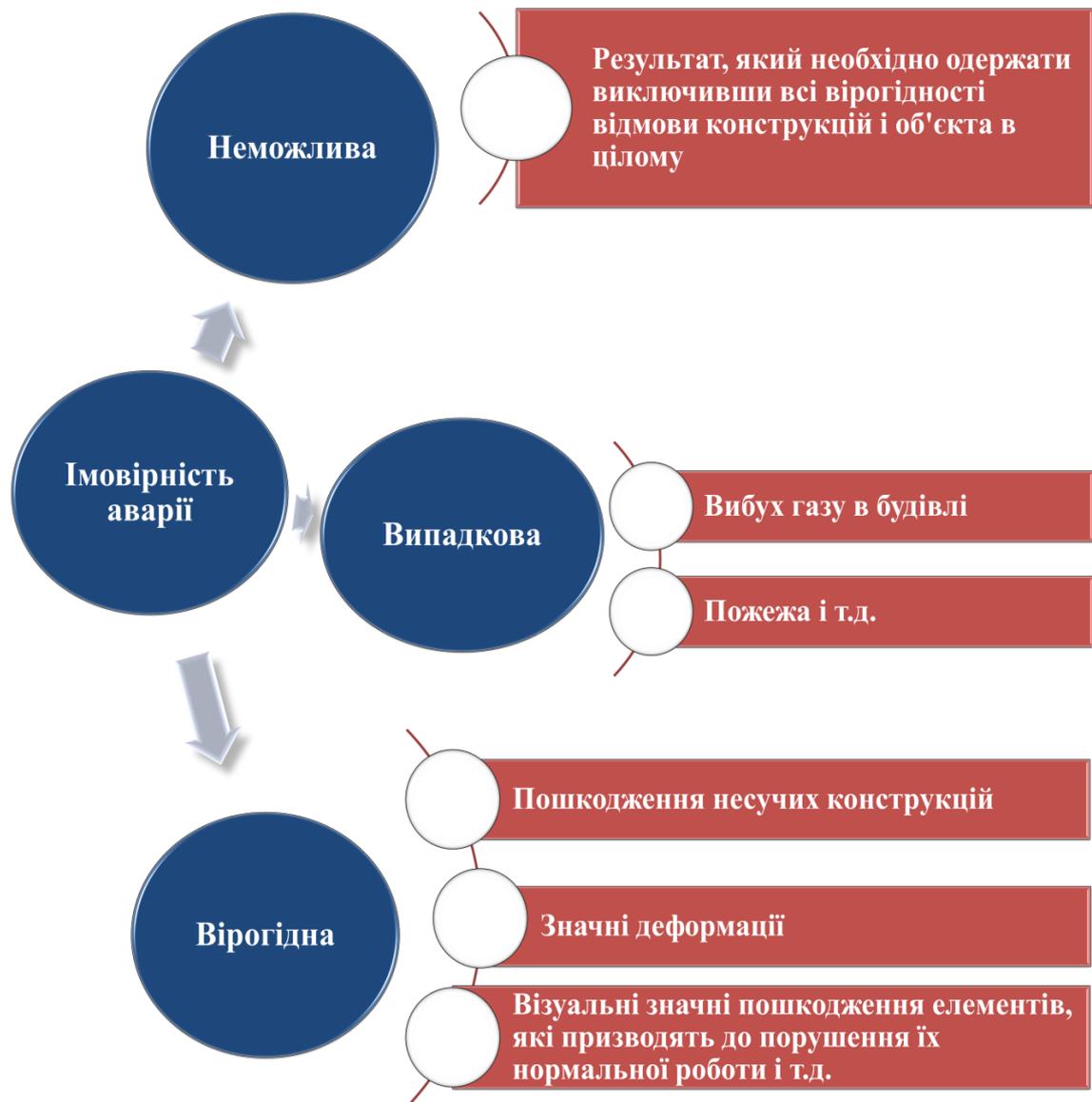


Рис. 3.1. Класифікація аварій за імовірністю їх виникнення

Використовуючи таку класифікацію, можна стверджувати, що аварія відбувається випадково (випадковий вибух газу, або не передбачений

землетрус, пожежа, повінь); вірогідно (обвалення колон, які потребували негайного ремонту, або руйнування будівлі завантаженої понаднормово непередбаченими проектом навантаженнями; та як результат всіх передбачених небезпек. Варто зазначити, що термін "неможливість виникнення аварії" є маркером максимального передбачення всіх ймовірних ситуацій у ході роботи конструкції, забезпечення та перевірка ключових конструктивних моментів, виключення можливості прогресуючого руйнування [21].

Наведемо приклади ситуацій, в яких аварія являлася вірогідною. В даному випадку це аварія, яка відбулася неподалік міста Мумбаї, 6 квітня 2016 року [142]. Обвалення семиповерхової житлової будівлі спровокував ряд причин, такі як порушення норм будівництва, халатність при будівництві, незаконність проведення будівельних робіт. Вірогідність виникнення аварійної ситуації було максимальною у даному випадку.

До випадкових аварій можна віднести вибух газу в житловому будинку в Брюсселі, який відбувся 18 березня 2017 року, в результаті чого загинула одна людина [67]. Одна будівля зруйнувалася повністю, від іншої залишився лише фасад. Або пожежу, яка сталася 21 лютого 2015 року в ОАЕ, де загорілася найвища будівля «Факел» [104], де ніхто не постраждав.

Яскравим прикладом опрацювання досвіду минулих років, виконання необхідних вдосконалень та попередження різноманітних типів аварії є будівля «Бурдж Халіфа», яка має висоту 828 метрів (Рис. 3.2) [6].

Будівля оснащена передовими технологіями, жорсткий каркас створений таким чином, що виведення із роботи одного елемента не впливає на нормальну роботу всієї конструкції. На досвіді минулих років із проблемами пожежної безпеки та вибухонебезпечного середовища впроваджені найновітніші високотехнологічні конструкції. Дана споруда слугує яскравим прикладом ефективної роботи над помилками в будівництві.



Рис. 3.2. Хмарочос «Бурдж Халіфа»

3.3 Аналіз аварій

Аварії будівель та споруд, що представлені в базі даних, також відображені в залежності від країни виникнення (Рис. 3.3).

Дана мапа показує країни в яких відбулися аварії будівель та споруд за 2000-2022 рр. В результаті розгляду мапи можна зробити наступні висновки:

- Представлені країни мають та надають статистичний матеріал аварій будівель та споруд;
- Представлені країни володіють більш широкими ресурсами для надання публічності інцидентам;
- Рівень повторюваності руйнування будівель та споруд в представлених країнах вище за країни, які не були приведені в даній класифікації.

Провівши аналіз інформації щодо територіального розмежування виникнення аварій були побудовані наступні графіки:

- мапа з кількістю поранених людей в залежності від країни в якій виникло руйнування будівлі (Рис. 3.4) – де найбільша кількість поранених в Бангладеш, Індії, Росії;

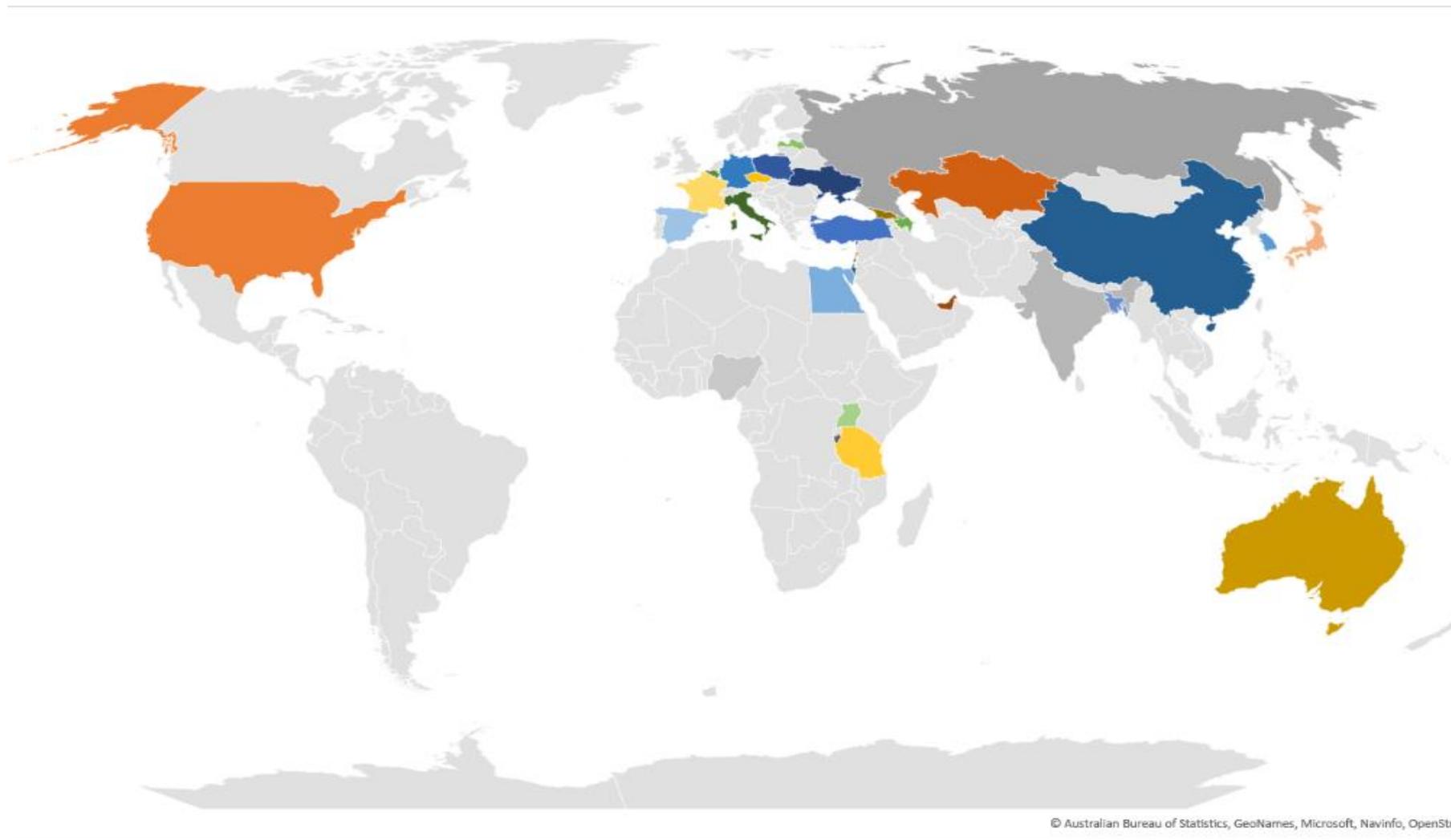


Рис. 3.3. Мапа бази даних аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр

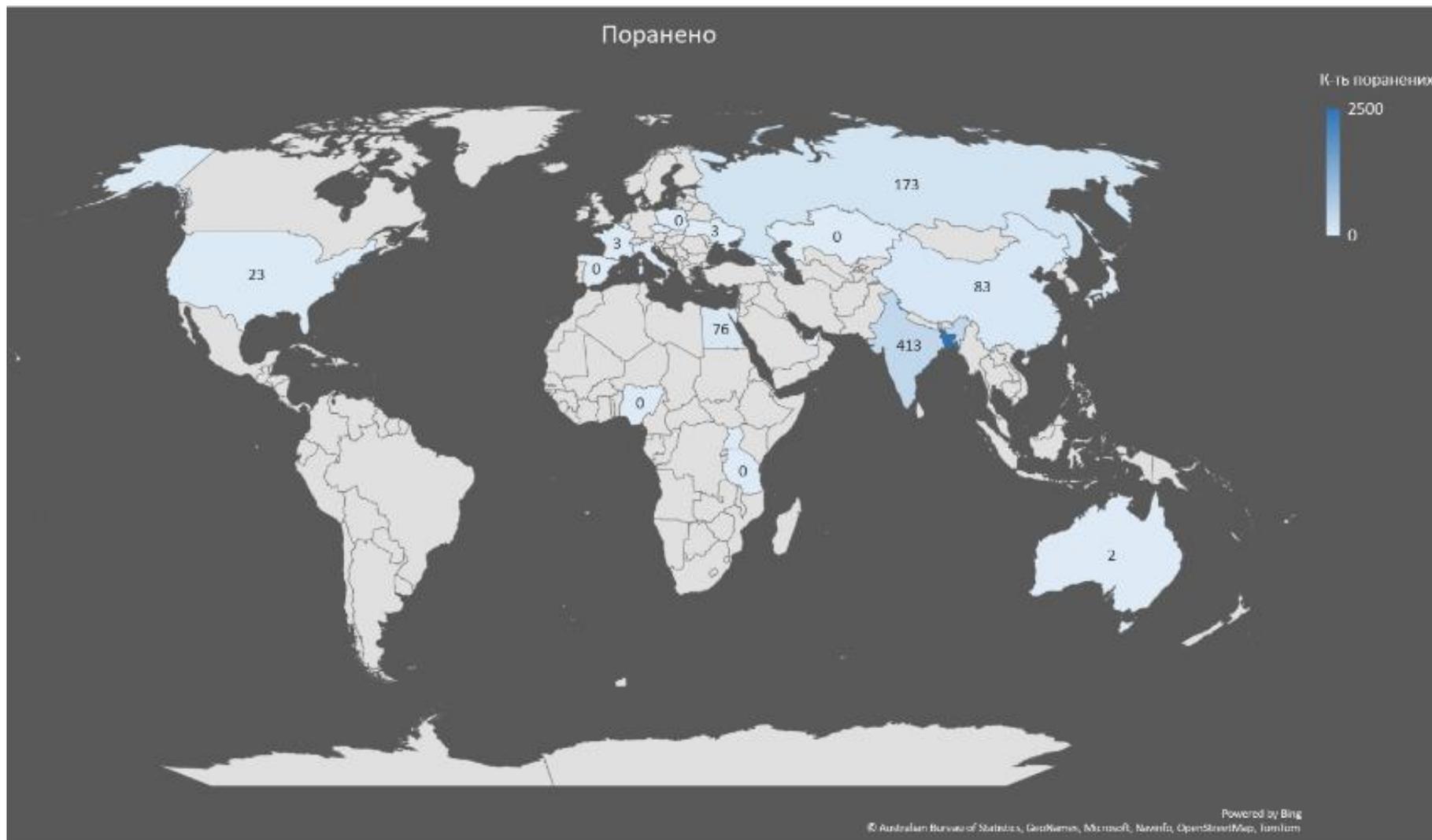


Рис. 3.4. Мапа з кількістю поранених людей в залежності від країни в якій виникло руйнування будівлі

- мапа з кількістю людей, що загинули, в залежності від країни в якій виникло руйнування будівлі (Рис. 3.5) – де найбільша кількість людей що загинули в Бангладеш, Індія, Росія;

- - діаграма відсоткового співвідношення кількості аварій до кількості поранених та постраждалих (Рис. 3.6): таким чином найбільший коефіцієнт залежності кількості постраждалих до кількості аварій мають країни Бангладеш, Німеччина, Республіка Бурунді; найбільший коефіцієнт залежності кількості людей що загинули до кількості аварій мають країни Бангладеш, Індія, Нігерія, Танзанія.

- При статистичному дослідженні зібраної інформації було визначено відсоткові співвідношення аварій в залежності від типів будівель, етапу будівництва та причини аварії (Рис. 3.7).

- Отримані показники свідчать про високий відсоток руйнувань саме багатоповерхових будівель житлового призначення (51%), що в свою чергу спричинене помилками будівельників (39%) та проектувальників (7%) на етапі будівництва (36%) та експлуатації (39%).

Причинами руйнування будівель та споруд на етапі будівництва слугують недотримання норм, до них належать наступні класифікатори-підкласи, а саме: помилки будівельників (46%), ведення незаконного будівництва (17%), використання неякісних матеріалів та їх економія (23%) та недотримання техніки безпеки (14%) (Рис. 3.8).

Варто зазначити відносну еквівалентність частоти аварій на етапі будівництва та введення в експлуатацію (36%) та аварій на етапі експлуатації будівлі (39%). При більш детальному аналізі було виявлено, що аварії при експлуатації саме в результаті базових помилок при будівництві складають (31%), із них 31% через помилки будівельників, 27% по причині незаконного будівництва, 29% через використання неякісних матеріалів та 12% по причині недотримання правил техніки безпеки (Рис. 3.9).

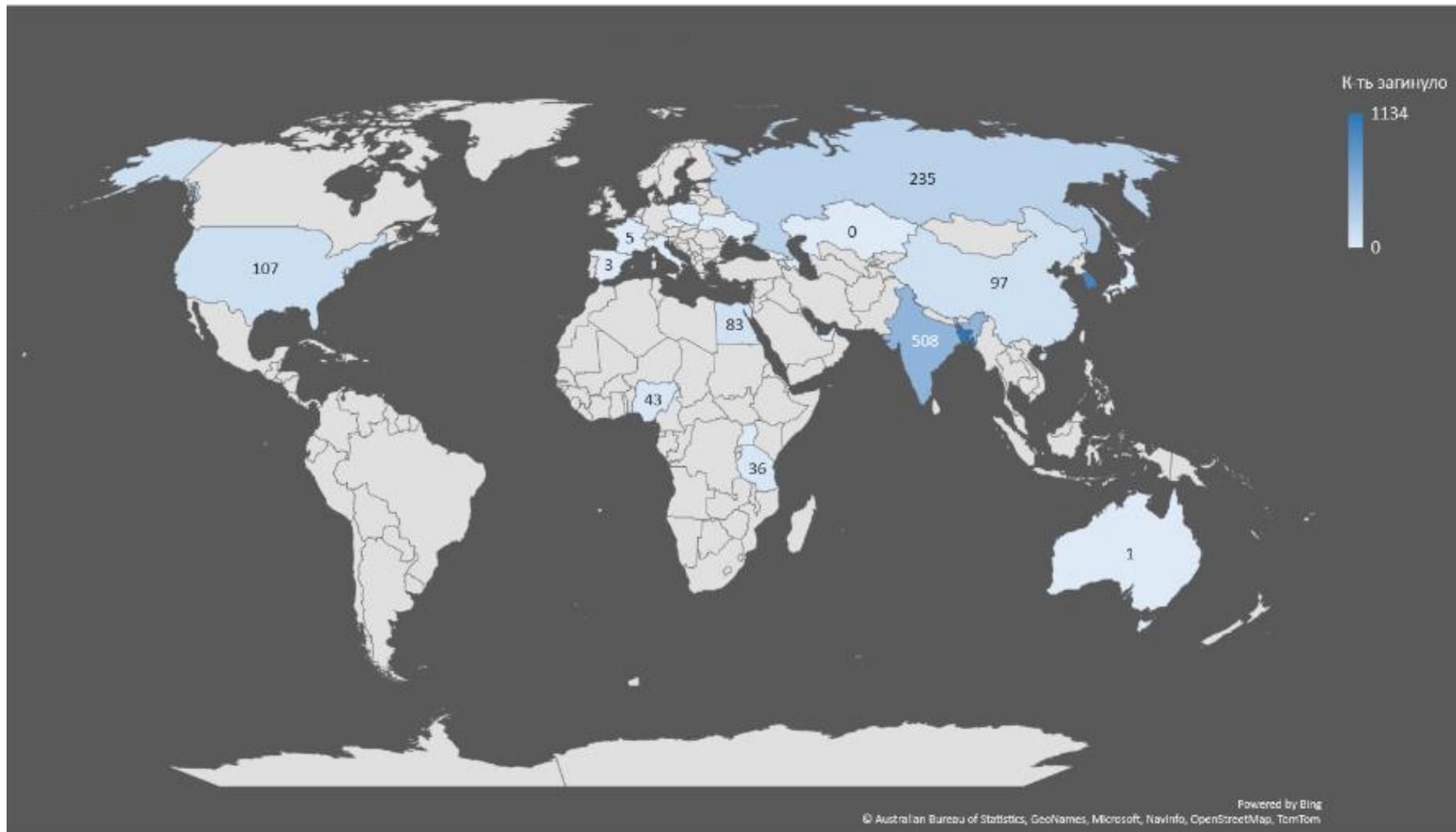


Рис. 3.5. Мапа з кількістю людей, що загинули, в залежності від країни, в якій виникло руйнування будівлі

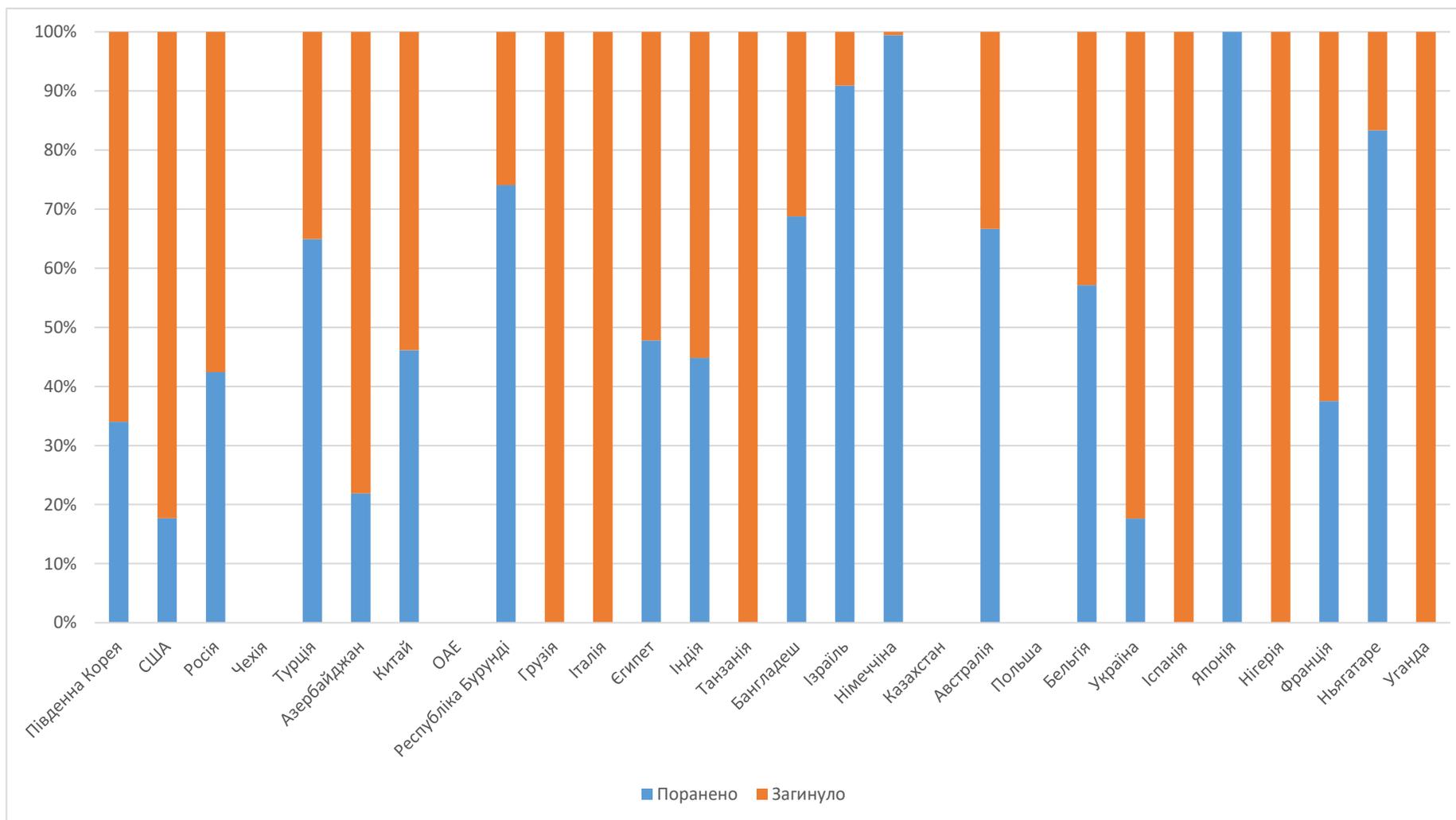
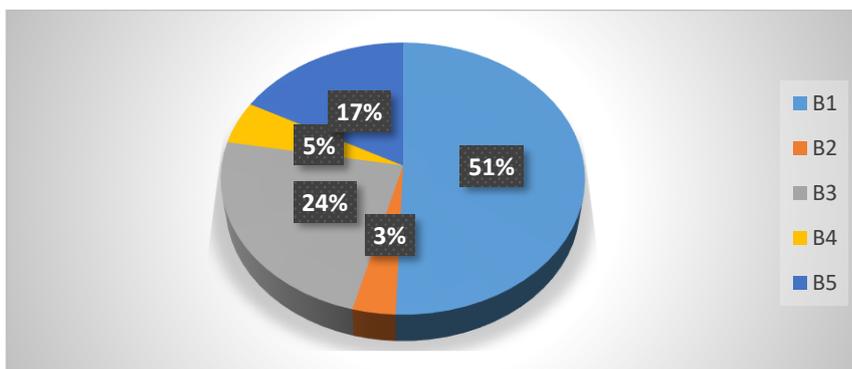
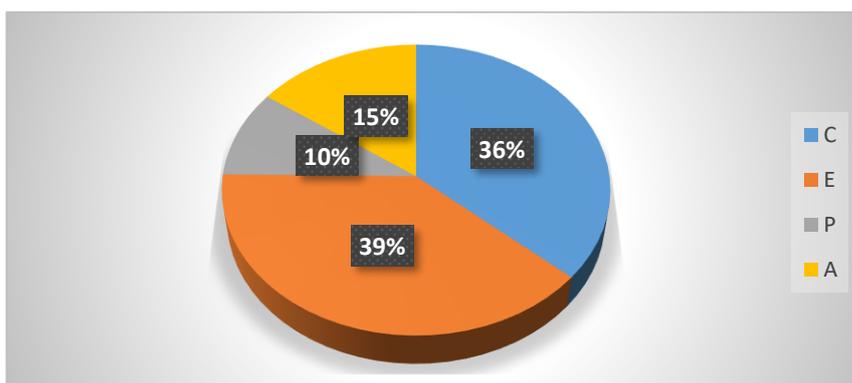


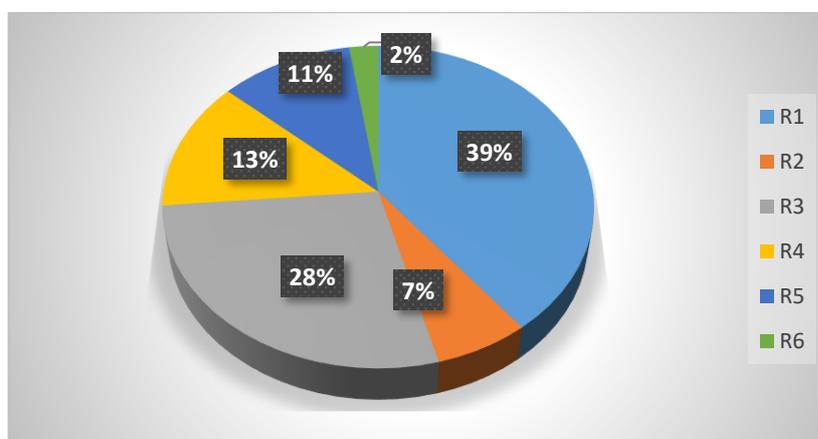
Рис. 3.6. Діаграма відсоткового співвідношення кількості аварій до кількості поранених та постраждалих



а).



б).



в).

Рис. 3.7. Діаграми відсоткового співвідношення аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр

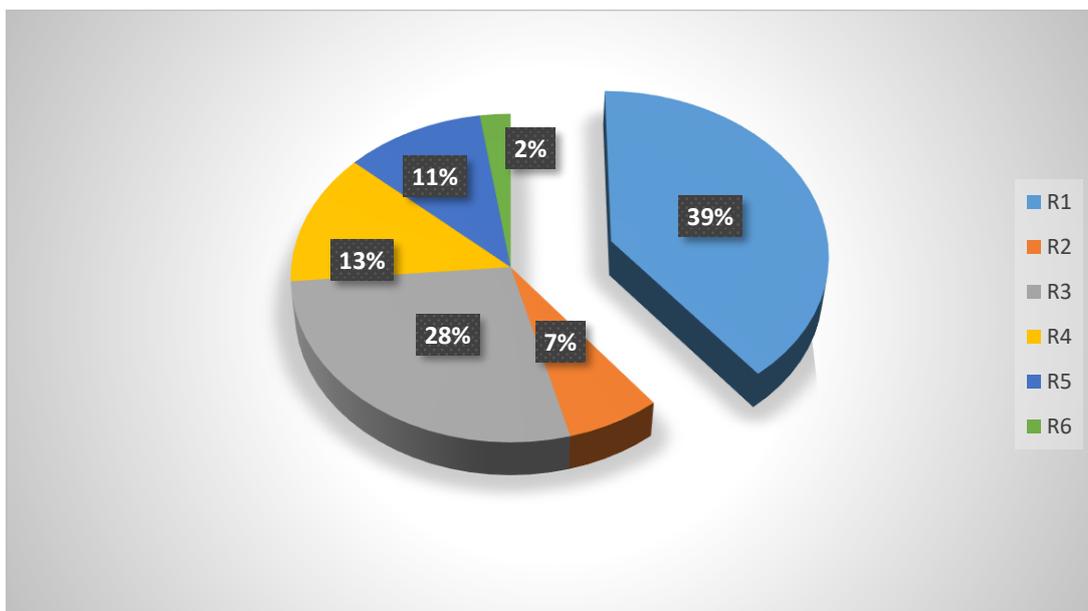
а). за типом будівлі що зруйнувалася; б). за етапом роботи конструкції каркасу на якому виникла аварія; в). за причиною виникнення руйнування (позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

На основі отриманих даних можна зробити наступні висновки щодо рекомендацій забезпечення надійності та безвідмовності в будівництві та складання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівельного об'єкту:

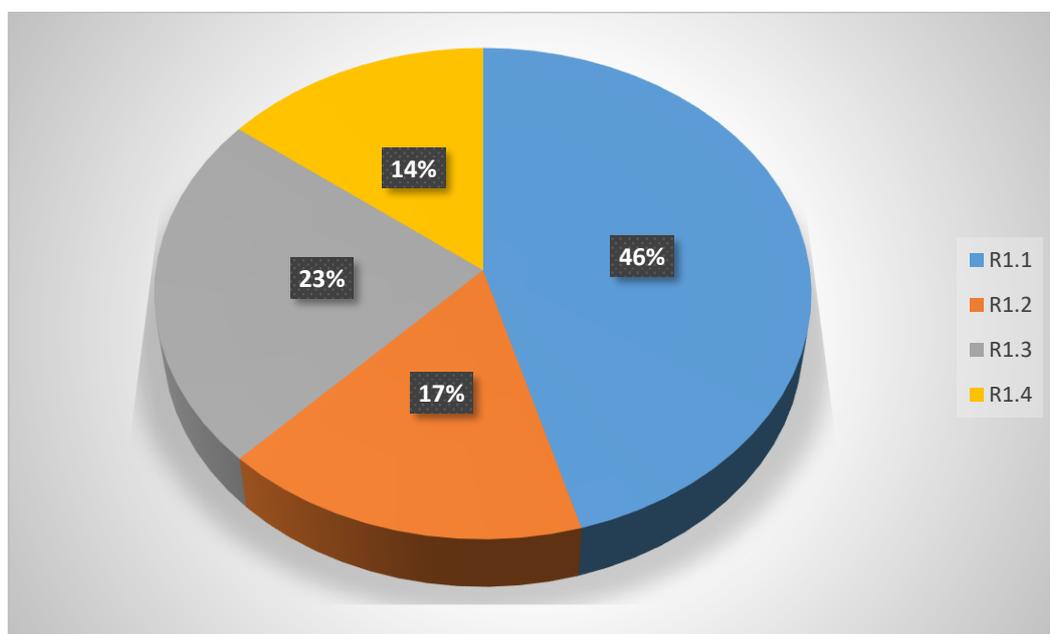
1. Першочерговість проведення моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті необхідна у першу чергу для житлових багатоповерхових будівель та будівель громадського призначення. Отже, дані типи будівель будуть в подальшому внесені до 1 рівня значущості об'єкта для проведення моделювання при розробці алгоритму.
2. При створенні алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди в основних етапах моделювання повинні бути розроблені сценарії руйнування каркасу за причинами можливих помилок будівельників R1 (враховуючи підкласи R1.1-R1.4) на етапах будівництва С та експлуатації Е.

Як велось у огляді діаграми на рисунку Рис. 3.17, у ході аналізу було визначено високий показник аварій багатоповерхових будівель житлового призначення (51%). Таким чином був проведений детальний аналіз саме цього типу будівель.

Досліджуючи аварії багатоповерхових житлових будівель на усій світовій арені (Рис. 3.10) було визначено, що найбільший відсоток аварій припадає на етап будівництва та введення в експлуатацію (41%) та, безпосередньо, експлуатації (31%). При чому для аварій внаслідок недотримання норм будівництва відсоток аварій, що виникли саме через помилки будівників складає 42%, ведення незаконного будівництва 14%, використання неякісного матеріалу та його економія 24% та недотримання техніки безпеки 20% (Рис. 3.11).

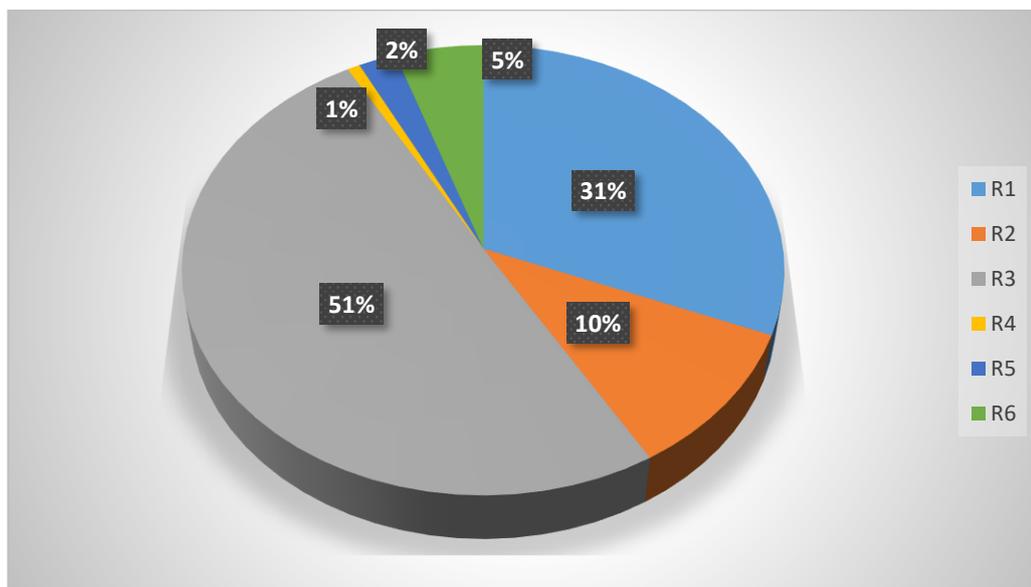


а).

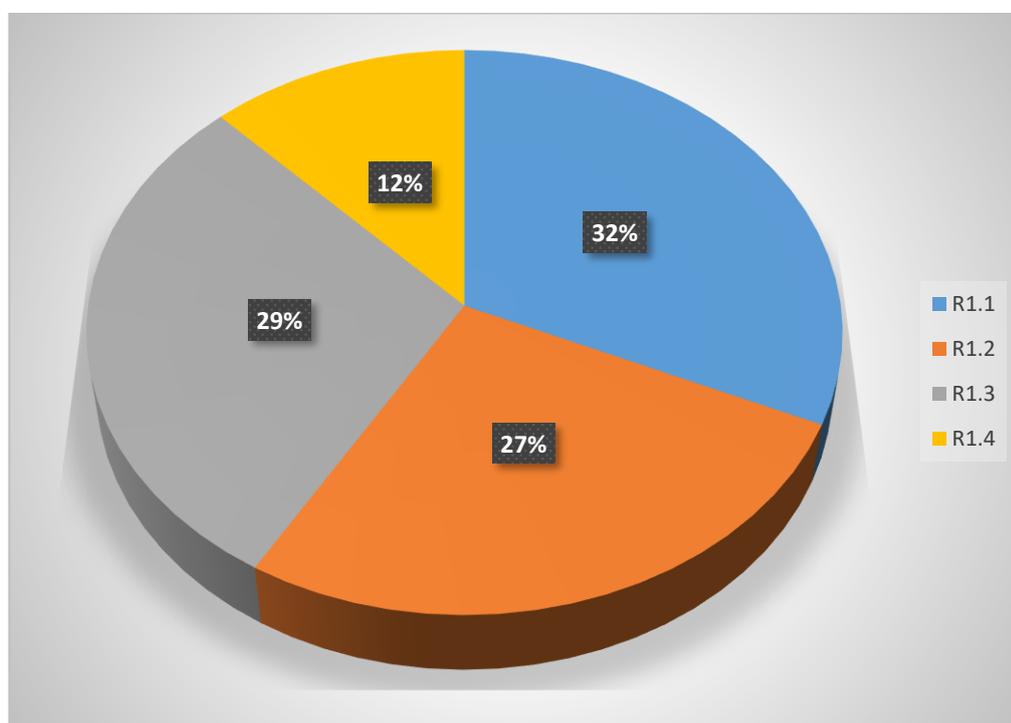


б).

Рис. 3.8. Діаграма відсоткового співвідношення аварій будівель та споруд а). за причинами виникнення; б). за підкласом причин руйнування будівлі внаслідок недотримання норм при будівництві (позначення дивись рис.2.2. розділу 2)



а)



б).

Рис. 3.9. Діаграми відсоткового співвідношення аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр на етапі експлуатації

а). за причинами виникнення аварії; б). за причинами виникнення аварії у результаті недотримання норм будівництва (позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

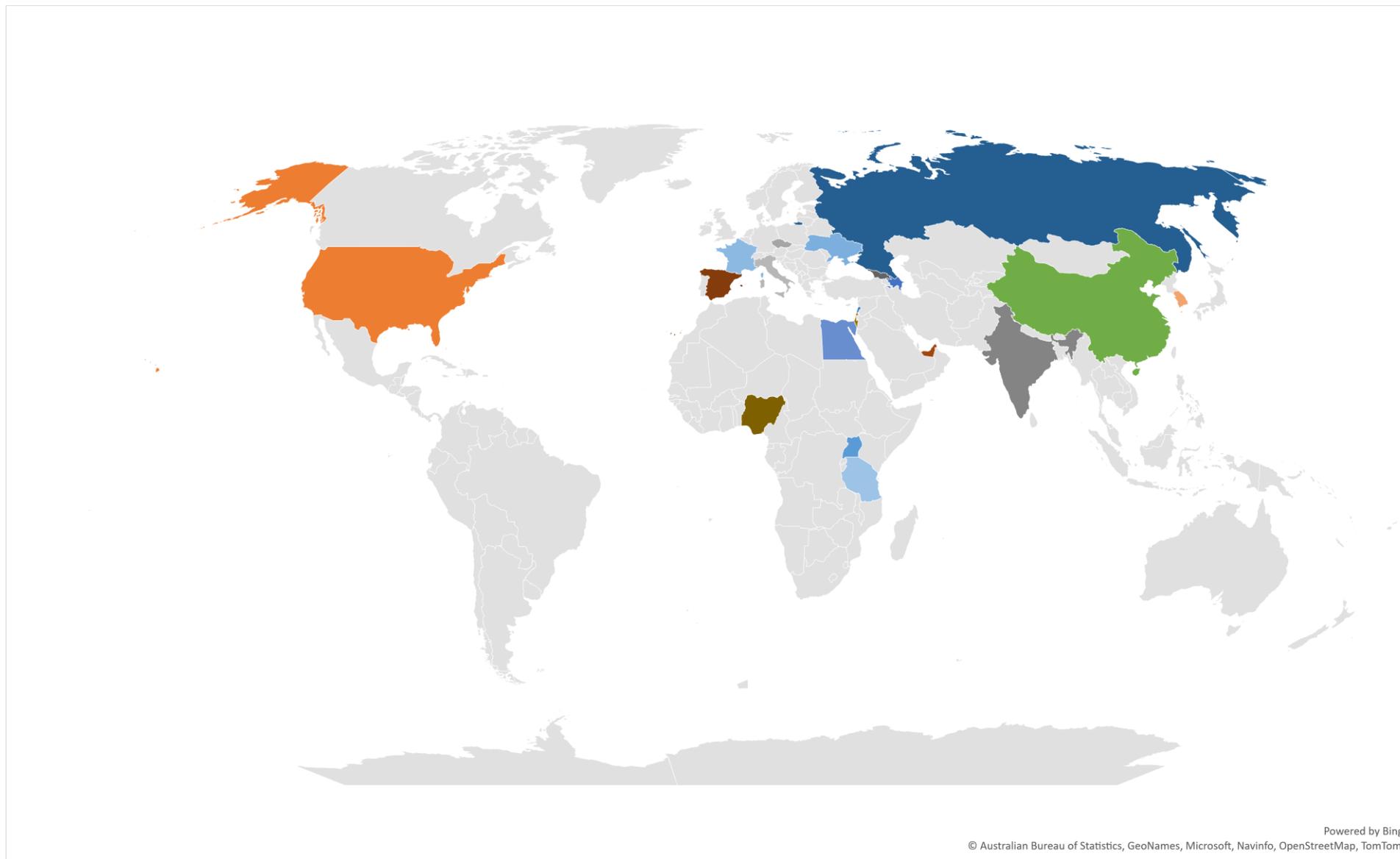
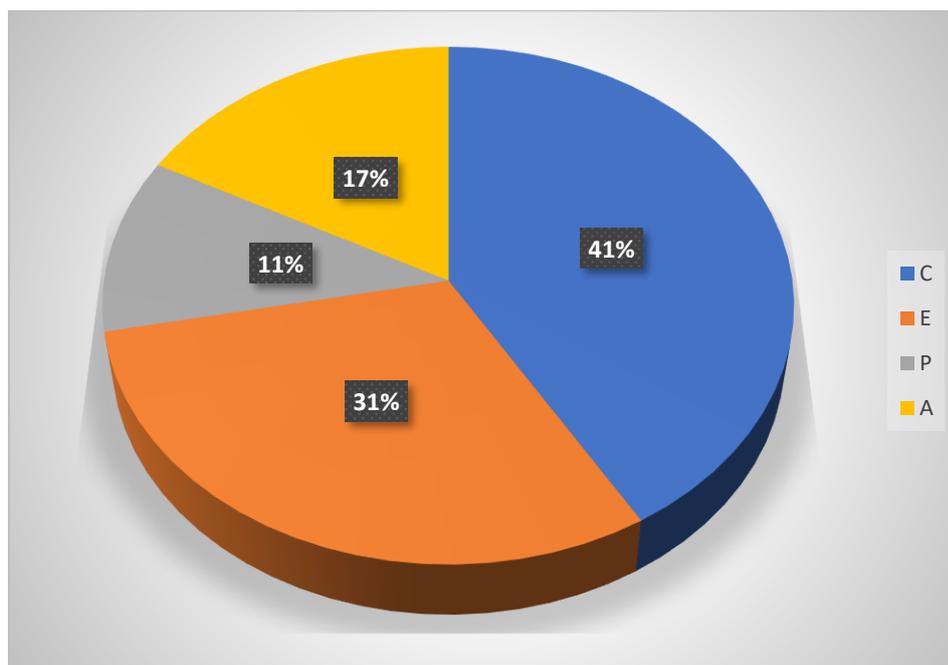
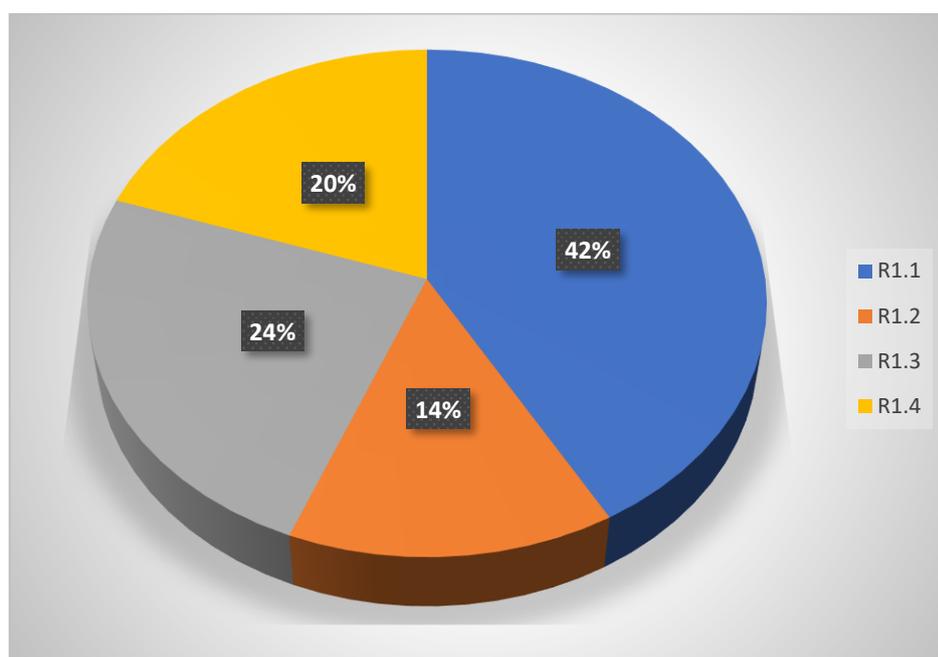


Рис. 3.10. Мапа аварій багатоповерхових житлових будівель за 2000-2022 рр



а).



б).

Рис. 3.11. Діаграма відсоткового співвідношення аварій багатоповерхових житлових будівель в залежності від: а). етапу роботи конструкції; б). руйнування будівлі через недотримання норм при будівництві (позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

Також доцільно представити графік частоти виникнення аварії на відповідному етапі роботи конструкції каркасу в залежності від причини руйнування (Рис. 3.12). Даний графік дає можливість встановити та підтвердити попередні дані щодо високого показника руйнування конструкцій саме через недотримання норм при будівництві.

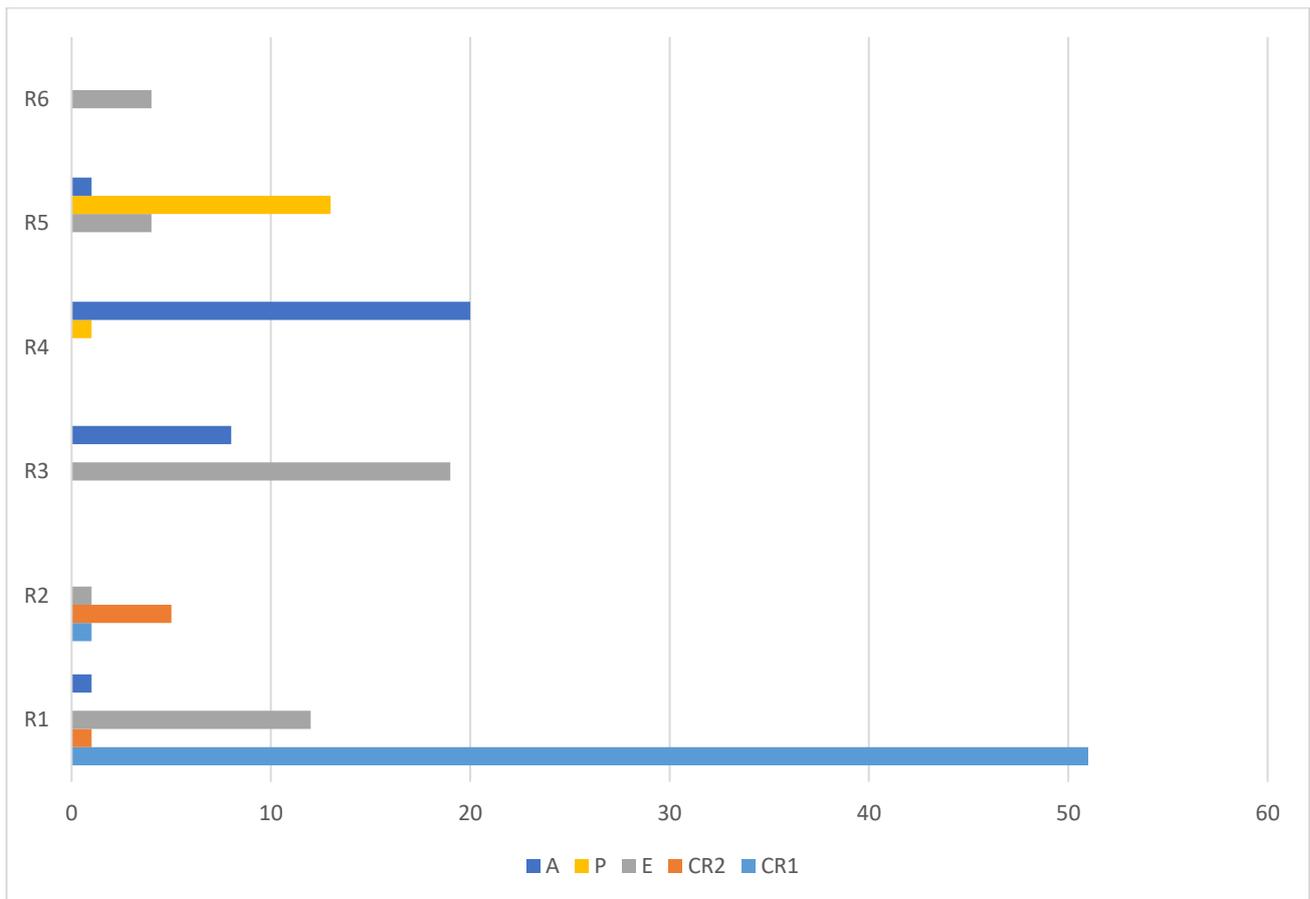
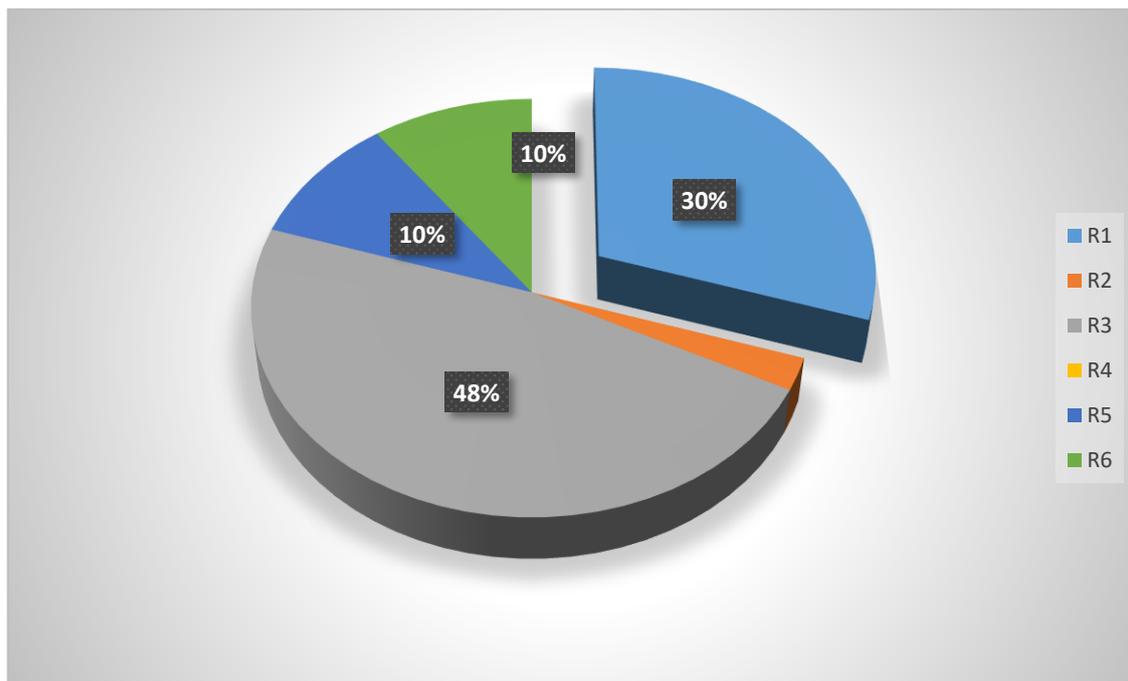
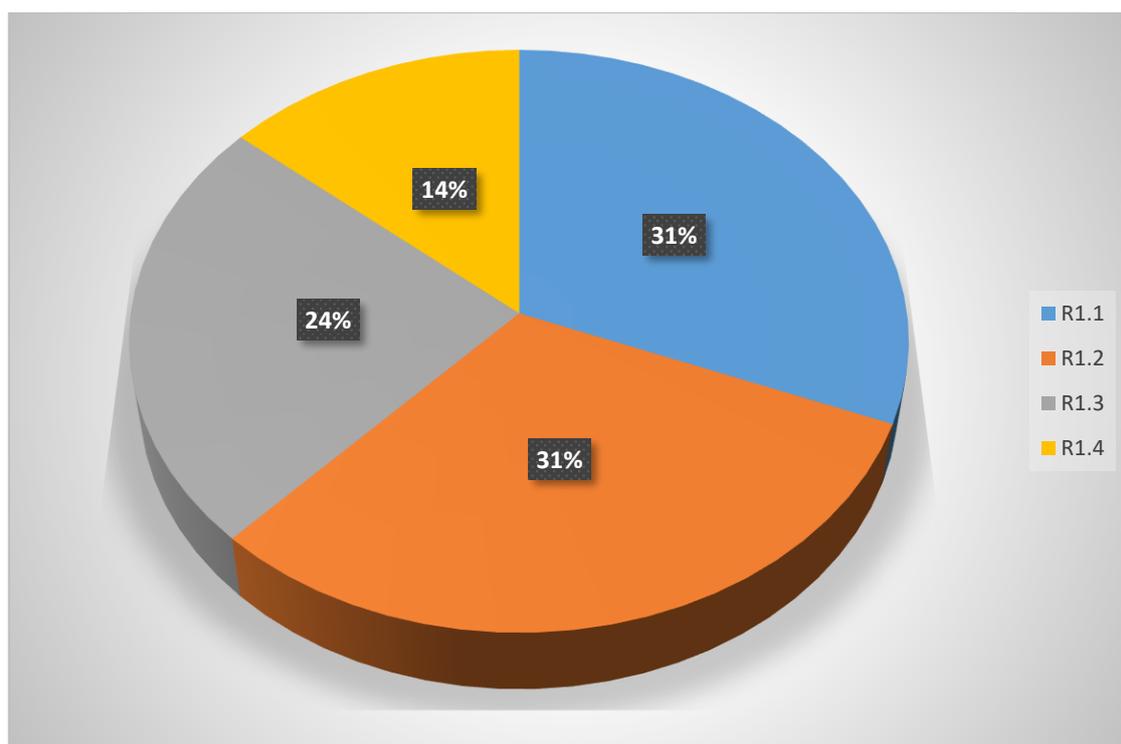


Рис. 3.12. Графік частоти виникнення аварії на відповідному етапі роботи конструкції каркасу в залежності від причини руйнування

Для багатоповерхових житлових будівель етап експлуатації характеризується 30% аварій через недотримання норм при будівництві (Рис. 3.13). Причому такий показник доцільний для будівель віком до 10-11 років, що суттєво впливає на подальшу розробку алгоритму моделювання аварії.



а).



б).

Рис. 3.13. Діаграма відсоткового співвідношення аварій багатоповерхових житлових будівель на етапі експлуатації в залежності від: а). причини виникнення аварії; б). руйнування будівлі через недотримання норм при будівництві (позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

Проаналізувавши аварії (Додаток А), які призвели до повного руйнування будівлі або споруди, приведемо наступні дані (Рис. 3.14 – Рис. 3.17):

Для будівель схильних до прогресуючого руйнування 43% аварій відбулася на етапі будівництва та введення в експлуатацію, 37% складають аварії на етапі експлуатації, 11% в результаті великого віку об'єкту та 9% на етапі реконструкції (Рис. 3.14);

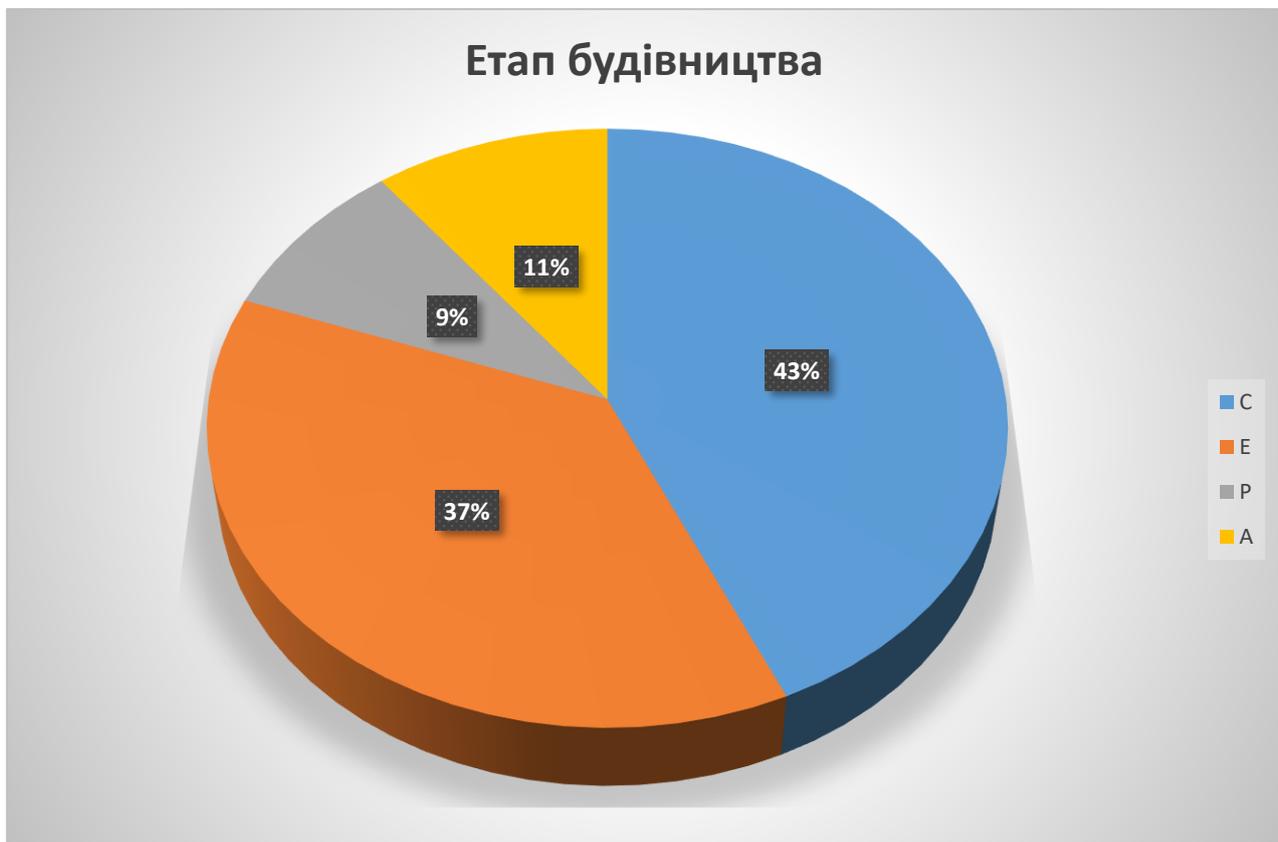


Рис. 3.14. Діаграма кількості аварій на етапі будівництва
(позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

55% аварій із прогресуючим руйнуванням виникли внаслідок недотримання норм) (Рис. 3.15), а саме – 36% в результаті помилок будівельників, 29% через використання неякісних матеріалів та їх економії, 21% спричинені незаконним будівництвом без наявності необхідних дозволів на забудову та 14% внаслідок недотримання техніки безпеки виконання будівельно-монтажних робіт (Рис. 3.16);

Продовжуючи аналіз причин аварій із виникнення прогресуючого руйнування відмітимо, що 15% складають аварії внаслідок неправильної експлуатації, 9% обвалення внаслідок несвоєчасного проведення експертизи, ремонтних робіт, або демонтажу будівель великого віку, 8% складають аварії внаслідок помилок будівельників та еквівалентний відсоток припадає на аварії в результаті неправильного ведення реконструкції або демонтажу (Рис. 3.15);

За типом будівлі що зазнала прогресуючого руйнування 57% складають житлові багатоповерхові будівлі, 28% цивільні (громадські) об'єкти, 6 % відповідає руйнуванню одноповерхових житлових будівель, 6% - аварії промислових будівель та 3% складають руйнування споруд (резервуарів, мостів, водонапірних башт, ангарів тощо) (Рис. 3.17).



Рис. 3.15. Діаграма кількості аварій в залежності від причин на етапі будівництва
(позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

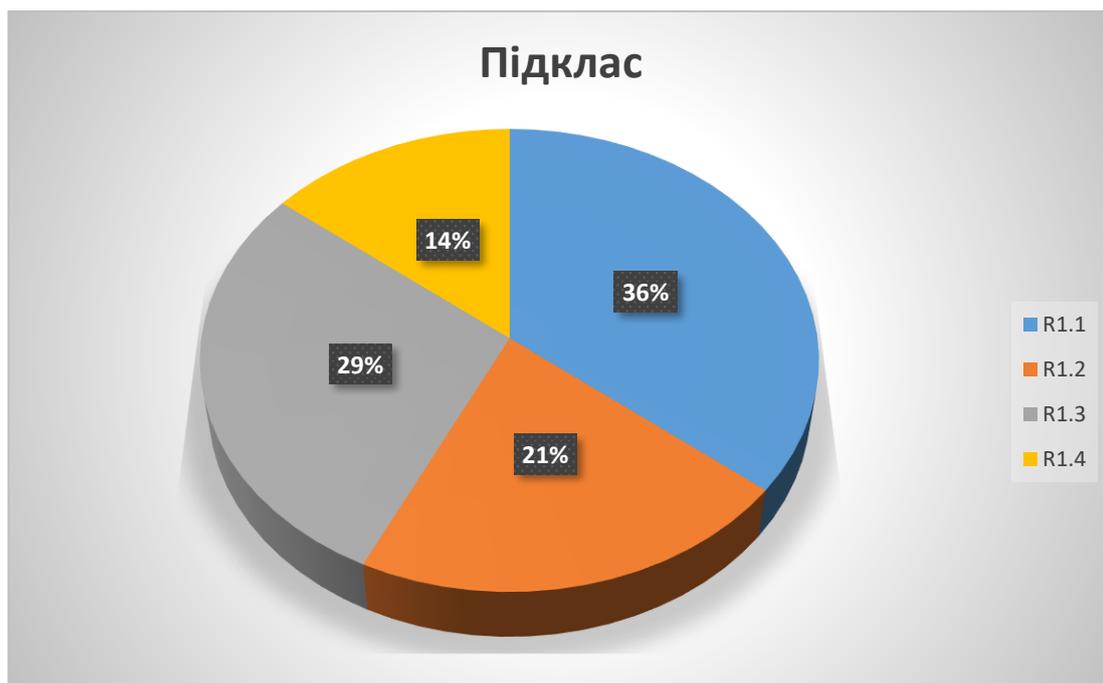


Рис. 3.16. Діаграма кількості аварій за підкласами
(позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

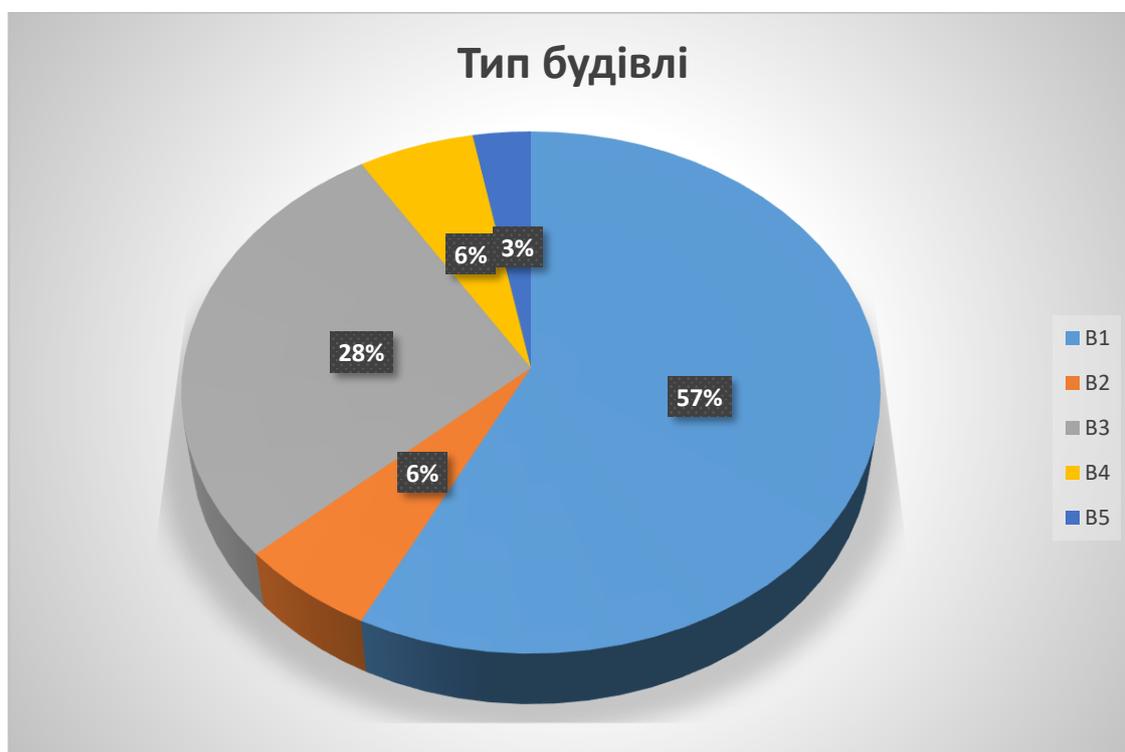


Рис. 3.17. Діаграма кількості аварій за типом будівлі
на етапі будівництва
(позначення дивись рис.2.2. розділу 2)

Отримані дані у результаті проведеного аналізу відображають реальну ситуацію в питаннях аварій. Для ефективного використання нормативної будівельної бази при проведенні моделювання на дослідження прогресуючого руйнування будівельного каркасу на етапі проектування будівлі, необхідно максимально наблизитися до сценаріїв аварій, представлені в класифікаційній таблиці.

Таким чином, варто переглянути методику вибивання колон різного місця розташування, як основного етапу моделювання і перевести стратегію моделювання ризику до багатокomпонентної із врахуванням етапу роботи конструкції, можливих причин руйнування, типу конструкції і рівнем значущості будівельного об'єкта. Даний метод запропонована у вигляді блок-схеми на Рис. 4.4.

3.4 Висновки по розділу

Відповідно до поставлених задач дисертаційної роботи, на основі зібраного статистичного матеріалу проведений докладний аналіз аварій будівель та споруд.

Результати аналізу представлені у вигляді графіків та відсоткових діаграм.

Аналіз показав що найвищий відсоток виникнення аварій припадає на етап будівництва та введення в експлуатацію (54%) для житлових багатоповерхових будівель (55%), що спричинено здебільшого недотриманням норм при будівництві (50%) (порушенням правил техніки безпеки, помилками проектувальників, веденням незаконного будівництва та використання неякісних матеріалів).

Отримана інформація щодо найбільш повторюваних типів аварій та їх причин є основою створення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті.

Аналіз будівель та споруд дав змогу виділити найбільш розповсюджені руйнування будівель та споруд. До них належать недотримання норм під час будівництва 39% (а саме помилки будівельників 46%, незаконне будівництво

17%, використання невідповідного матеріалу або його економія 23% та недотримання техніки безпеки проведення будівельно-монтажних робіт 14%), помилки проектувальників 7%, некоректна експлуатація 28%, некоректна реконструкція та/або демонтаж 11% та аварії внаслідок високо віку об'єкта (недотримання терміну експлуатації, несвоєчасне проведення експертизи та реконструкції) 13%.

Внаслідок проведеного аналізу цікаво відмітити наступне:

- прогресуюче руйнування в більшості випадків виникало для житлових багатоповерхових будівель (загалом 51% руйнувань за всіма типами будівель). Хоча нормативні документи із питань прогресуючого руйнування концентрують найбільшу увагу на будівлях громадського призначення, їх відсоток також досить значний – 24%, достатня увага для житлових будівель досі не привертається, що, виходячи із проведеного дослідження, потребує підвищеної уваги;

- аварії в результаті виходу несучих колон із ладу та втрати ними несучої здатності складають тільки 1% від загальних аварій;

- аварії, що спричинили повне раптове обвалення будівлі в результаті дії багатокомпонентного руйнування (одночасне руйнування декількох несучих конструкцій різного типу із лавиноподібним стрімким руйнуванням всього каркасу будівлі, що може визначатися як прогресуюче руйнування) складають 22% від загальної кількості аварій;

- аварії спричинені втратою несучої здатності перекриття будівлі складають 11% відсотків від загальної кількості проаналізованих аварій.

Із отриманих результатів видно, що моделювання та дослідження прогресуючого руйнування повинні супроводжуватися моделюванням локального руйнування, що в свою чергу також повинно мати чітку методологію.

Також, варто зауважити в необхідності проведення багатокомпонентного моделювання, із врахуванням всіх можливих негативних факторів. Розроблений алгоритм базується на факторах, які найчастіше виникали протягом 2000-2022 рр і призводили до значних руйнувань, економічних та неекономічних наслідків.

РОЗДІЛ 4

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЇ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ

4.1. Основні розрахункові положення

Задача роботи створити метод моделювання та нормування прогресуючого руйнування на будівельному об'єкті, для забезпечення максимальної надійності запроектованого каркасу.

В такому випадку постає найскладніше завдання, а саме збереження балансу економічності будівництва та його енергоефективності, із високою надійністю та безпечністю в експлуатації.

Як зазначено в першому розділі дисертаційної роботи, General Services Administration (GSA) [20] представив досить вичерпний нормативний документ щодо моделювання та аналізу прогресуючого руйнування будівлі або споруди. Даний документ має на меті зменшення ризику прогресуючого руйнування в державних установах та оцінку імовірності виникнення руйнування в існуючих будівлях, урядових офісах [127].

Основні сценарії проведення моделювання в даному документі полягають у видаленні колон на першому поверсі, а саме:

- 1) видалення колонки посередині або поблизу середини короткої сторони конструкції;
- 2) видалення колони посередині або поблизу центру довгої сторони конструкції;
- 3) видалення крайньої колони;
- 4) демонтаж внутрішніх колон.

В даному документі розглядається підхід до розрахунку результатів моделювання сценарію можливої аварії заснований на Demand Capacity Ratio (DCR) для конструктивних елементів і порівнює значення DCR з пороговими значеннями для виявлення руйнування конструкції. Даний підхід обрано за

основу аналізу результатів реалізації алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди.

Таким чином, для аналізу результатів моделювання необхідно провести розрахунок DCR, який розраховується за такою формулою:

$$DCR = \frac{Q_{ud}}{Q_{ce}}, \quad (4.1)$$

де Q_{ud} – сила, отримана в елементі (момент, осьова сила і комбінація сил), отримана з лінійного пружного аналізу;

Q_{ce} – орієнтовна міцність елемента (момент, осьова сила і комбінація сил).

Допустимі значення DCR для конструктивних елементів наступні:

- 1) $DCR < 2,0$ для типової конструктивної системи,
- 2) $DCR < 1,5$ для унікальної конструктивної системи.

На основі керівництва GSA в лінійному або нелінійному статичному аналізі процедури використовують комбінацію навантажень $2(DL + 0.25LL)$, тоді як у лінійному або нелінійному динамічному аналізі процедури використовують комбінацію навантажень $(DL + 0.25LL)$, де DL є постійними навантаженнями, а LL – тимчасовими [2].

Основною проблемою даного підходу є вибір конструктивних елементів які руйнуються. Із дослідження норм проектування будівель із запобіганням прогресуючого руйнування виявлено, що вибір елементів та сценаріїв моделювання руйнування є спрощеними. За основу беруться несучі елементи каркасу, здебільшого це колони першого поверху, дослідження проводиться для декількох сценаріїв, без пояснення передумов та причин моделювання.

За задачами поставленими в дисертаційній роботі було створено алгоритм моделювання можливого виникнення аварії, тобто обґрунтований метод моделювання сценаріїв аварій, в результаті проведення яких можна

проаналізувати отриману деформовану модель каркасу на рівень стійкості до прогресуючого руйнування.

Передумовами до створення переліку сценаріїв руйнування конструкцій каркасу можуть слугувати приклади реальних руйнувань будівель та споруд, які розглянуті у розділі 2. При чому, важливим фактором у підході опрацювання та аналізу аварій у будівництві є фактор часу проведення дослідження. Тому було вирішено використовувати статистичну інформацію аварій, що виникли за 2000-2022 рр. Таке рішення дає змогу досліджувати аварії, які відбулися на сучасному етапі розвитку будівельної галузі і національних стандартів. Якщо аварія відбулася на етапі будівництва та введення в експлуатацію, досить легко відслідкувати специфіку запроектованого каркасу, який повністю (в апіорі) зводиться за сучасними будівельними нормами та кодами із використанням матеріалів та конструктивних рішень сьогодення. Якщо аварія відбулася в будівлі, що експлуатується і рік її спорудження вищий за обраний період, є можливість досить легко проаналізувати стан нормативного регулювання на даний момент, щодо будівель високого віку, відсоток надання вчасної експертизи щодо їх технічного стану та своєчасного проведення реконструкції або демонтажу. Варто зазначити також, що подібний збір та аналіз інформації є важливим і з огляду на питання перевірки часом існуючих конструктивних схем, які були запроектовані та побудовані за нормами минулого століття.

Основні положення до проведення алгоритму можна сформулювати наступним чином:

- Алгоритм моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті використовується інженерами на етапі розробки проектної документації будівельного об'єкта.
- Для проведення алгоритму необхідно використовувати об'ємну візуалізацію запроектованої будівлі за допомогою програмного комплексу, що задовольняє вимогам проекту.

- Алгоритм не є розрахунковим та проектувальним етапом будівництва, але є підставою до внесення змін до існуючого проекту у разі виявлення такої необхідності, або проведення повторного розрахунку та проектування для усунення помилок на етапі проектування.

- Алгоритм не є вимогою до виконання, а слугує лише інструментом додаткового контролю будівництва на етапі проектування будівельного об'єкту.

- Будівлі, які включені в даний алгоритм можуть та мають бути доповнені виходячи із практики сучасного будівництва в Україні (особливі конструктивні рішення, матеріали, системи зведення і т.д.).

- Мета алгоритму постає у дослідженні можливості виникнення прогресуючого руйнування на будівельному об'єкті, визначення найбільш уразливих ділянок проекту та загальній перевірці роботи каркасу будівлі, що дає змогу уникнути механічних помилок у розрахунках. Результатом перевірки є висновки інженера на основі візуалізації проведеного моделювання аварії будівельної споруди.

- На основі проведеного аналізу можна за необхідності вносити зміни у проект. Після чого, умова повторної перевірки за окремими пунктами алгоритму є обов'язковою.

- Створений алгоритм дає змогу проведення як повного аналізу роботи напружено-деформованого стану каркасу будівлі, але також враховує рівень значущості та складності каркасу, завдяки чому виокремлює основні першочергові етапи. Така система дає змогу інженерам припрацювати тільки необхідні моделі руйнування, без розгляду мало-важливих відмов конструкцій.

4.2. Методика виконання моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті

Основні етапи проведення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі представлені наступним чином:

1. Визначення типу будівлі

В залежності від типу, будівлі слід поділити наступним чином:

За типом призначення:

- Одноповерхова житлова;
- Багатоповерхова житлова;
- Цивільна, громадська;
- Промислова;
- Споруда.

2. Визначення послідовності моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті.

В залежності від типу, конструкції каркасу та класу відповідальності будівлі підбирається комбінація розгляду можливих аварій, які можуть виникнути на будівельному об'єкті за таблицею 4.1. Відповідно до класу відповідальності будівлі виконується розгляд наступного переліку моделювання аварій.

Для будівель із класом наслідків (відповідальності) СС3 виконується загальний алгоритм моделювання аварій для рівнів значущості 1, 2 та 3 із врахуванням індивідуальних особливостей проекту (Додаток Б).

Для будівель із класом наслідків (відповідальності) СС2 є обов'язковим виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії для рівнів значущості 1 та 2 за типом будівельного об'єкту що проектується із врахуванням індивідуальних особливостей проекту (Додаток Б).

Для будівель із класом наслідків (відповідальності) СС1 є обов'язковим виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії для рівня значущості 1 за типом будівельного об'єкту що проектується із врахуванням індивідуальних особливостей проекту (Додаток Б).

Для кожного із типів будівель приведена інформація щодо рівня (етапу) проведення аналізу. Таким чином інженер може виконати моделювання за алгоритмом в порядку від найбільш важливого до найменш значущого можливого виникнення аварії.

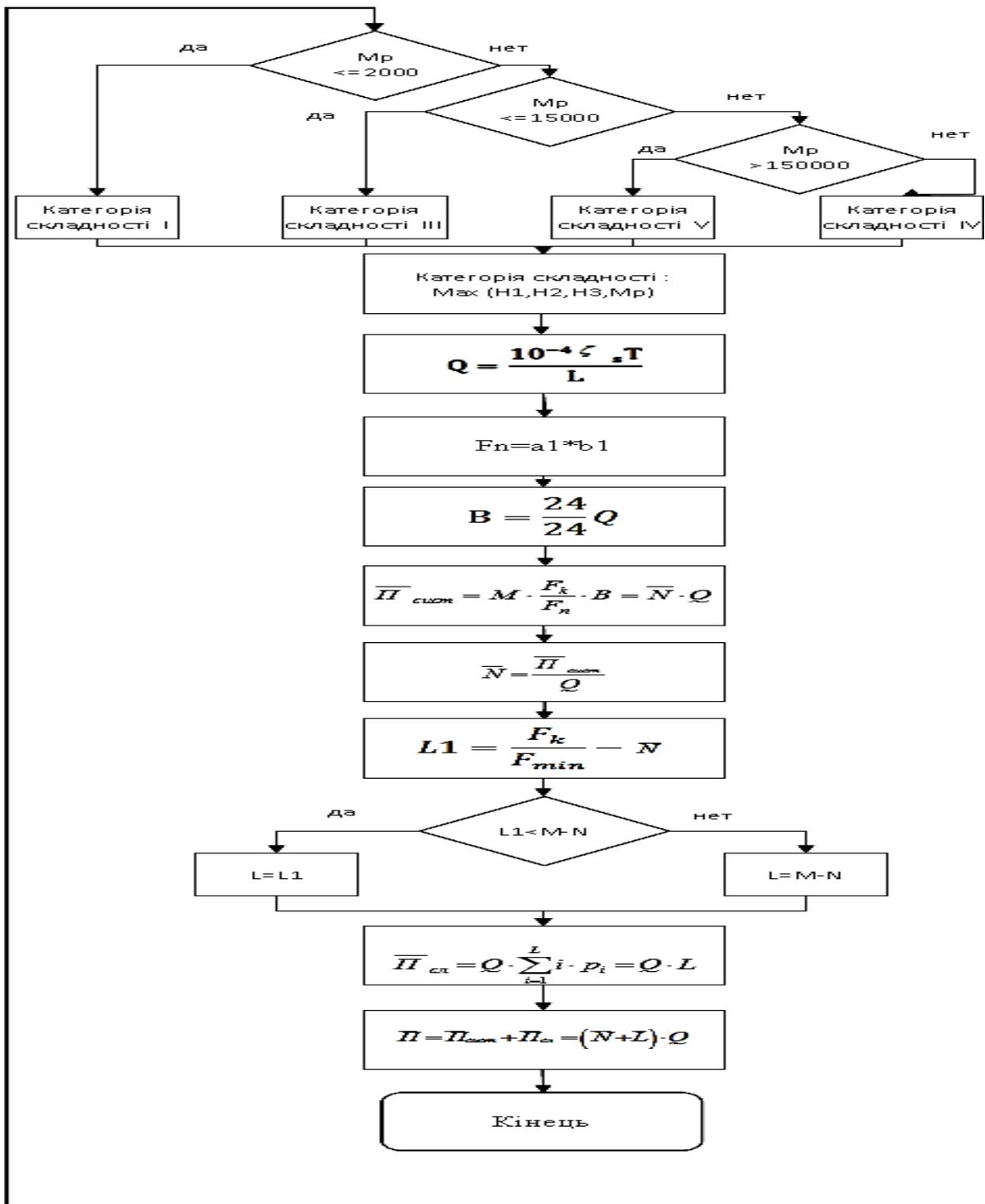
3. Аналіз та висновки по деформованій моделі каркасу.

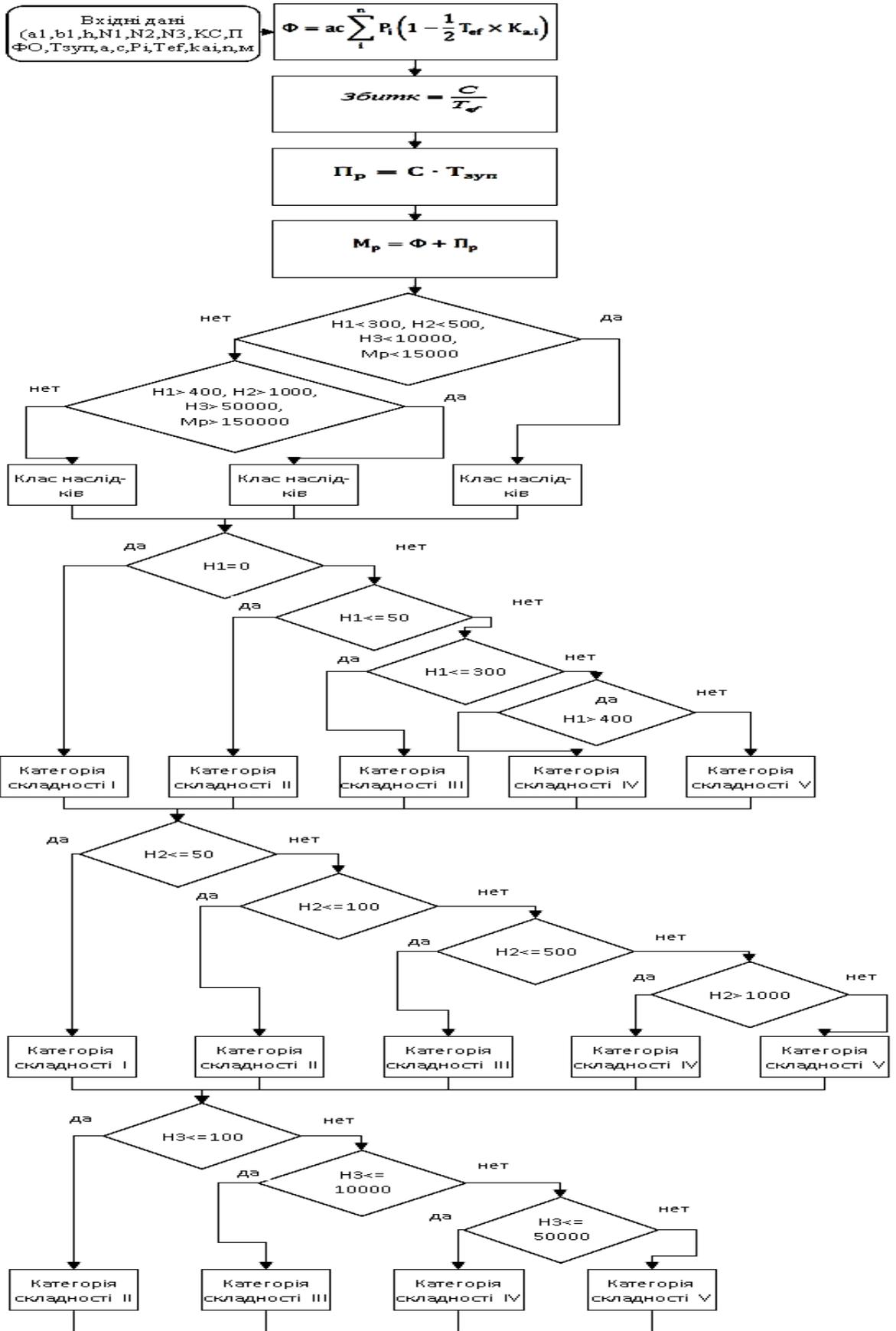
На основі аналізу деформованої моделі розрахованого каркасу із виконанням умови моделювання кожного варіанту виникнення можливої аварії на будівельному об'єкті, обґрунтовуються наступні висновки:

- При виявленні очевидних помилок при проектуванні, необхідно їх усунути.
- При виявленні очевидних небезпечних ділянок будівельного об'єкту у процесі його подальшої експлуатації, необхідно провести запобіжні заходи із метою зниження рівня небезпеки такої ділянки.
- При виникненні лавиноподібних руйнувань в одному, або декількох, варіантах моделювання можливого виникнення аварії, необхідно провести підсилення каркасу будівлі, або встановлення додаткових в'язей.
- При дослідженні виконання індивідуальних проектів в залежності від індивідуального підходу до моделювання, необхідно визначити окремі небезпеки і подати їх до проектної документації із матеріалами загального аналізу моделювання аварій.

4.2.1. Розробка алгоритму розрахунку економічних та неекономічних наслідків

Якщо до деякого часу аварія розглядалася як імовірнісна подія, яка не має жодної закономірності, і результати якої не можна передбачити, то на сучасному етапі науковці здійснили відчутний прорив в даній галузі знань. Із введенням таких понять, як економічні та неекономічні наслідки, починається розвиток та впровадження розрахунків можливих збитків в залежності від відмови тієї чи іншої конструкції. В першому розділі даної роботи були розглянуті основні положення розрахунків економічних та неекономічних наслідків аварій в будівництві. На підставі даних розрахунків був розроблений алгоритм процесу розрахунків економічних та неекономічних наслідків (Рис. 4.1).





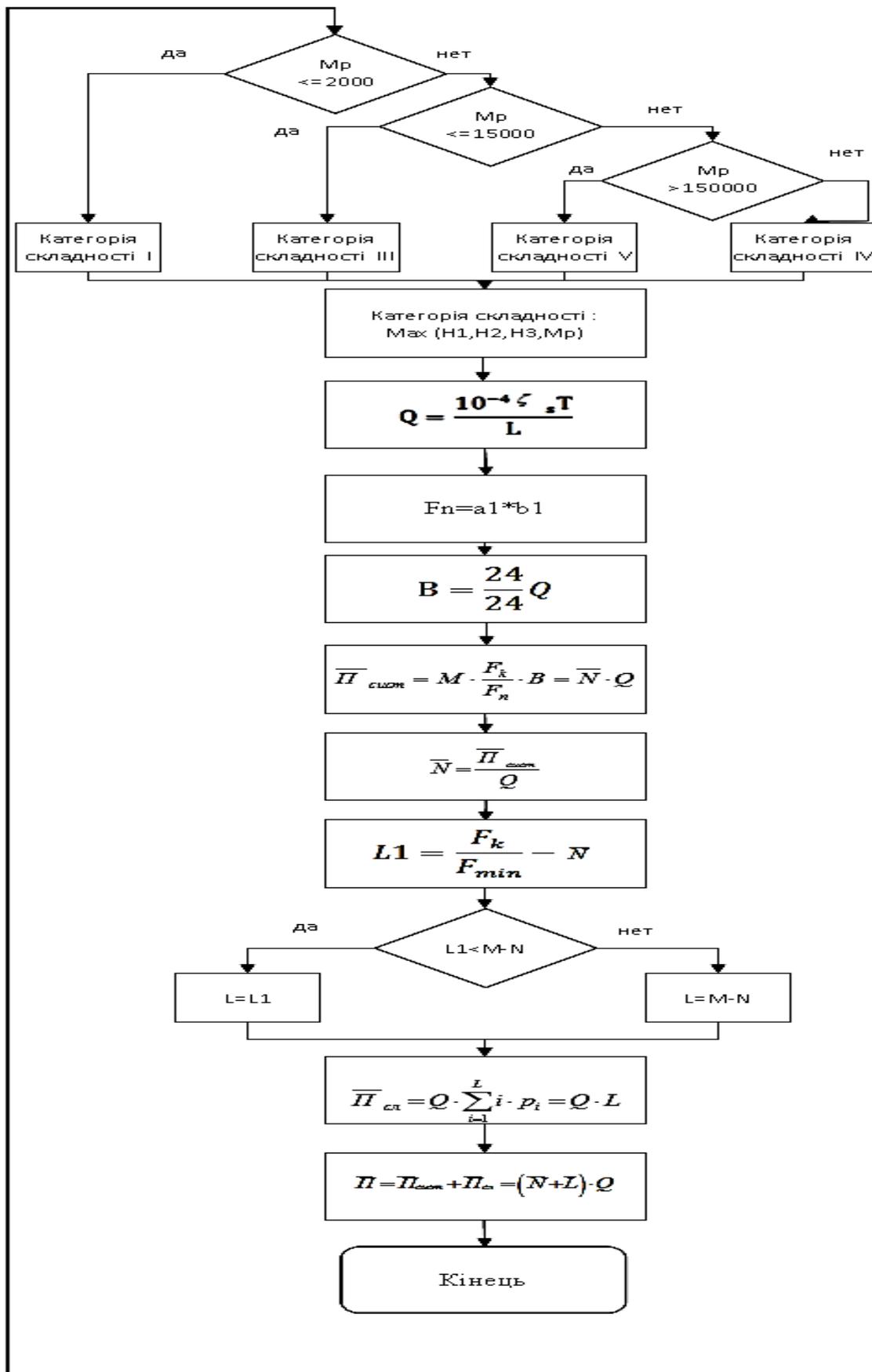


Рис. 4.1. Алгоритм розрахунку економічних та неекономічних наслідків

За даним алгоритмом була розроблена комп'ютерна програма (Рис. 4.2).

Розрахунок економічних та неекономічних наслідків

Виконати розрахунок

Розміри в плані: 60 142

Висота до верху несучих конструкцій покриття: 12.2

Кількість робітників, що постійно працюють у з:

Кількість робітників, що періодично бувають на об'єкті:

Кількість осіб, що знаходяться зовні об'єкта:

Втрата об'єктів культурної спадщини, категорії об'єкта:

Місцевого значення:

Принципи функціонування об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури, рівень:

Місцевий:

Випуск подоби продукції, що виготовляється за середньо:

С:

Коефіцієнт, що враховує прогноз відмови, згідно з яким може зруйнуватися один температурний:

Коефіцієнт, що враховує відносну долю основних фондів, що повністю втрачаються при відмові:

Контрибуційна вартість проекту-аналогу:

Встановлений термін експлуатації для виробничих будівель:

Коефіцієнт амортизаційних відрахувань:

Кількість основних фондів:

Врати:

Коефіцієнт соціальної значимості для промислових будівель:

Індекси ураження при відмові конструкцій:

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

Загальні збитки від відмови споруди: 87734.375

Клас наслідків: ССП

Категорія складності: 4

Повні середньо ймовірнісні неекономічні втрати: 1.95633802816901E-05

Рис. 4.2. Інтерфейс програми розрахунку економічних та неекономічних наслідків

4.3. Взаємозалежність структури алгоритму від результатів статистичного аналізу бази даних аварій будівель та споруд

Пункти виконання алгоритму ґрунтуються на проведеному аналізі статистичної інформації аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. В залежності від визначеної класифікації та визначення основних причин аварій для різних типів будівель створена послідовність моделювання виникнення відмов при роботі каркаса будівлі що проектується. Залежність алгоритму моделювання можливої аварії від аналізу аварій будівель та споруд приведено на (Рис. 4.3), (Рис. 4.4). Порядок виконання алгоритму для різних рівнів значущості приведений на Рис. 4.5 – Рис. 4.7 [40].

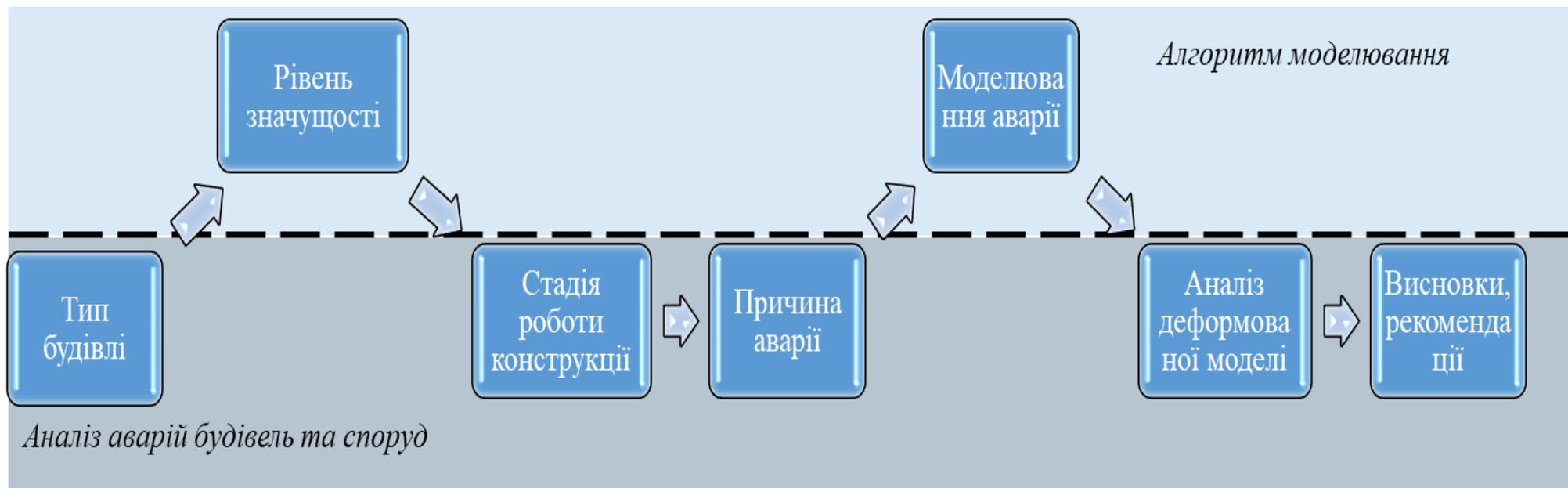


Рис. 4.3. Залежність алгоритму моделювання можливої аварії від аналізу аварій будівель та споруд

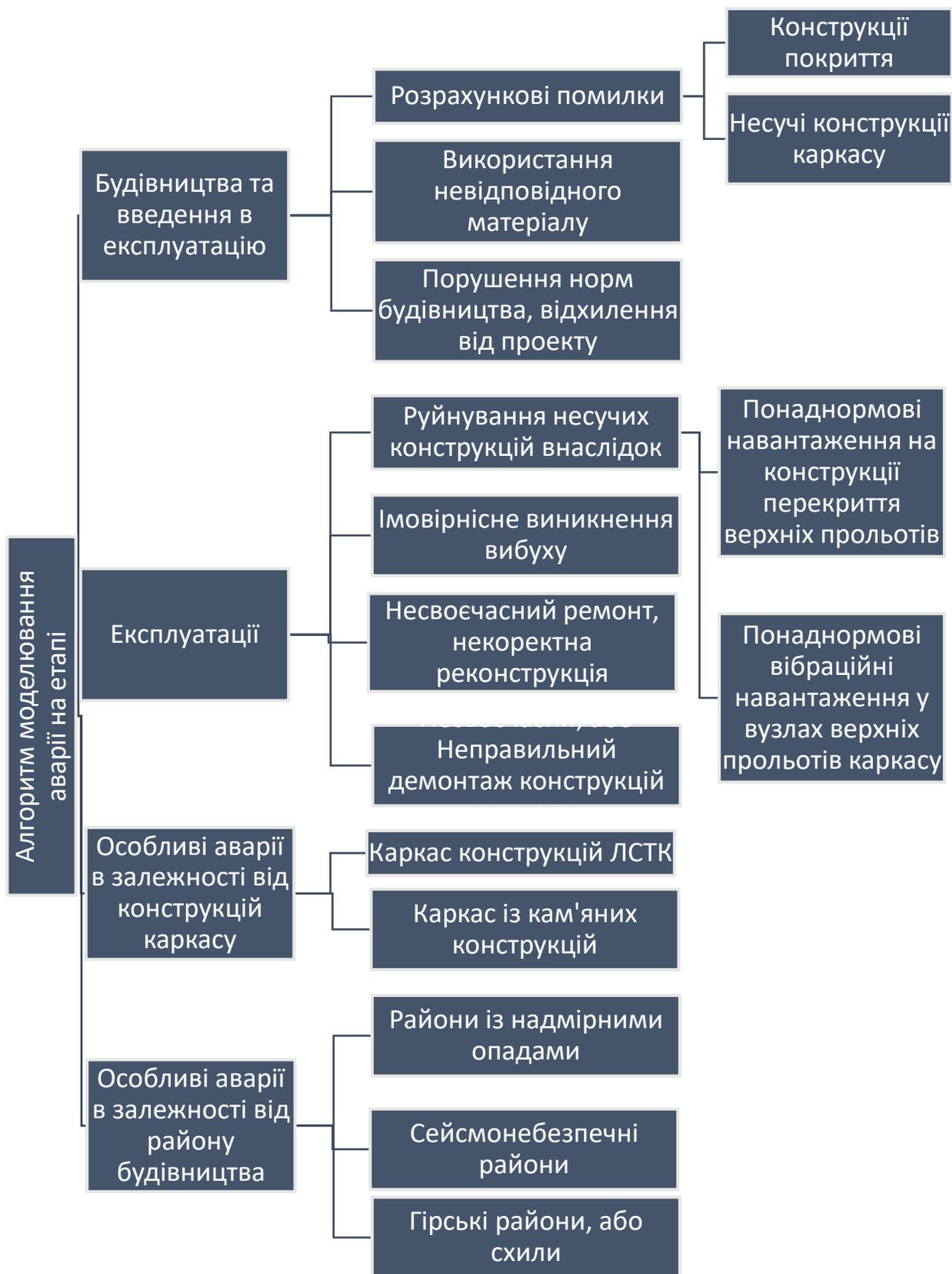


Рис. 4.4. Структура алгоритму

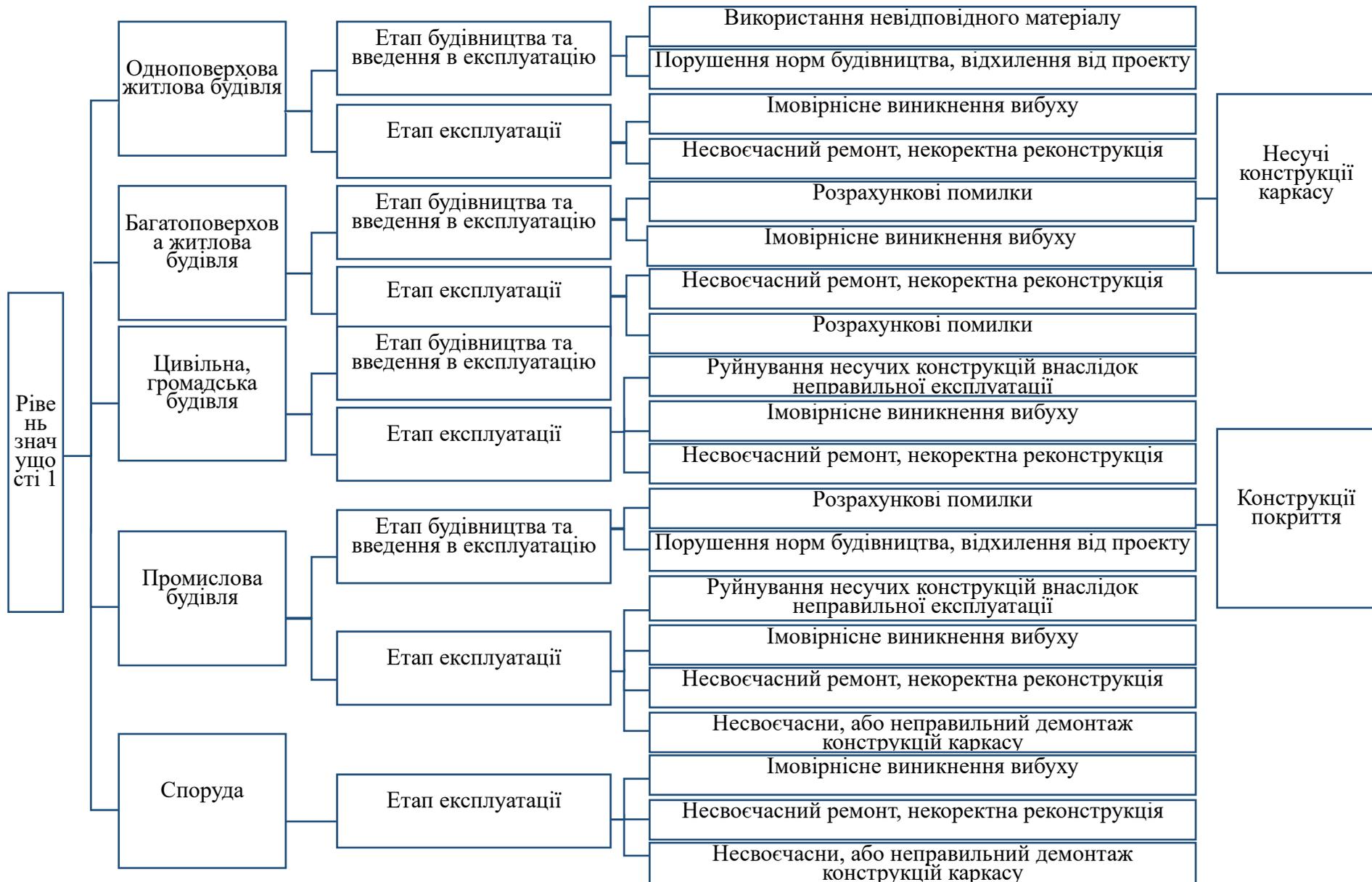


Рис. 4.5. Порядок виконання алгоритму для рівня значущості 1



Рис. 4.6. Порядок виконання алгоритму для рівня значущості 2



Рис. 4.7. Порядок виконання алгоритму для рівня значущості 3

Таблиця 4.1

**Алгоритм проведення моделювання та аналізу виникнення можливої аварії
на будівельному об'єкті, що проектується**

Тип аварії		Вид моделювання та мета перевірки	Рівень значущості виконання алгоритму за типом будівлі				
			Одно-поверхова житлова	Багато-поверхова житлова	Цивільна, громадська	Промислова	Споруда
1	2	3	4	5	6	7	8
Етап будівництва та введення в експлуатацію	Розрахункові помилки (конструкції покриття)	<p>1. Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$; $Q_2=1,2 Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом.</p> <p>2. Перевірка роботи вузлових з'єднань конструкцій покриття. Задання горизонтальних та вертикальних навантажень на вузли із значенням $Q_1=1,2Q_2$.</p> <p>3. Перевірка послідовності руйнування, із метою усунення прогресуючого руйнування каркасу. Вилучення, або утворення розриву ключового елемента перекриття у точці виникнення найбільшого моменту (визначається розрахунково), при прикладанні діючих сил запроектованих згідно будівельних стандартів та норм. При утворення лавиноподібного руйнування із переходом до руйнування вертикальних несучих конструкцій каркасу, необхідно провести підсилення покриття.</p> <p>4. Перевірка імовірності виникнення снігових мішків. У містах можливого виникнення снігових мішків провести понаднормове завантаження конструкції перекриття $Q_1=1,5Q_2$</p>	3	2	1	1	3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Розрахункові помилки (несучі конструкції каркасу)	<p>1. Перевірка роботи несучих та огорожуючих конструкцій, або інших конструкцій каркасу. Моделювання розрахункових вертикальних навантажень на несучі конструкції каркасу. Перевірка роботи деформованої моделі.</p> <p>Вибір конструкції каркасу повинен підпорядковуватися найнебезпечнішою ділянкою на об'єкті (включаючи місце максимального перебування людей, розташування великогабаритних, важкомонтованих потужностей виробництва, які можуть створювати додаткові критичні навантаження, включаючи вібраційні, на конструкції, або ділянки, на яких конструкції піддаються найбільше впливам агресивного середовища.</p> <p>Вибір проводиться в залежності від типу будівлі.</p> <p>2. При виявленні значних деформацій на етапі 1, слід провести моделювання руйнування конструкції у результаті її деформації завантаженням на неї понаднормованих зусиль, або, із метою дослідження імовірності прогресуючого руйнування каркасу – її повним вилученням.</p>	3	1	1	3	2
	Використання невідповідного матеріалу	<p>Перевірка роботи конструкцій у разі можливого використання матеріалу низької якості, або його економії шляхом зміни жорсткості матеріалу у заданих значеннях при проектуванні каркасу. Аналіз деформованої моделі у результаті змін.</p> <p>1. Зміна жорсткості одного несучого елемента каркасу, де $E_1=0,7E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі.</p> <p>2. Зміна жорсткості декількох несучих елементів каркасу на одній ділянці будівельного об'єкту, де $E_1=0,8E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі.</p> <p>3. Загальна зміна жорсткості усієї конструктивної схеми, де $E_1=0,9E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі.</p> <p>При виникненні можливого прогресуючого руйнування, або руйнування окремих елементів доцільно провести підсилення конструкцій із метою вилучення вірогідності такого виду аварії.</p> <p><i>При проведенні моделювання аварії такого типу варто звертати увагу на район будівництва та економічну стабільність держави, в якій проводить будівництво. Таким чином, для країн із підвищеним рівнем виникнення аварій такого типу (Індія, Єгипет) даний етап моделювання є обов'язковим.</i></p>	1	1	2	3	3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Порушення норм будівництва, відхилення від проекту	Перевірка роботи каркасу із заміною в статично невизначеної системі видів в'язей (здебільшого перекриття). Аналіз деформованої моделі.	1	2	2	1	3
Етап експлуатації	Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові навантаження на конструкції перекриття верхніх прольотів)	Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горищного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (складування будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати навантаження на перекриття довготривалі у двох варіантах: рівнорозподілені із значенням $q_1=1,5q_0$ та зосереджені зусилля F (розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття). Аналіз деформованої моделі.					

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові вібраційні навантаження у вузлах верхніх прольоті в каркасу)	Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горищного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (складування будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати навантаження на перекриття тимчасові вібраційні у вигляді зосереджених зусиль F , що розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття. Аналіз деформованої моделі.	3	2	1	1	3

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Імовірнісне виникнення вибуху	<p>Перевірка загальної стійкості каркасу будівельного об'єкті у разі виникнення раптового вибуху (наприклад, збереження вибухонебезпечних матеріалів, терористичний акт).</p> <p>Для вибору ділянки руйнування необхідно провести аналіз потужностей будівельного об'єкту, за наявності, стратегічно важливого обладнання чи приміщень. Також необхідно провести аналіз ймовірної кількості людей, що перебуватимуть на об'єкті постійно та тимчасово. В залежності від типу будівлі (для громадської будівлі обирається ділянка із найбільшою ймовірною потоковою (тимчасовою) кількістю людей (зали зібрань, приймальні холи і т.д.), для житлових розраховується загальна можлива постійна кількість людей на об'єкті) обирається ділянка, що відповідає найбільшому рівню відповідальності – внаслідок руйнування несучих конструкцій на даній ділянці виникає найбільший рівень економічних та неекономічних наслідків.</p> <p>За площу руйнування береться окремих проліт каркасу конструкцій: для житлового будинку – сходові клітини під'їзду; для громадської, цивільної та промислової будівель – квадрат кроку колон чи інших вертикальних несучих конструкцій; для споруд – індивідуальна ділянка, згідно плану та розрахунку.</p> <p>На основі отриманої візуальної 3Д моделі каркасу проводиться вилучення вертикальних та горизонтальних конструкцій. Проводиться аналіз роботи каркасу, досліджується перебіг руйнування.</p> <p>Моделювання проводиться для можливості максимальної ліквідації утворення різкого лавиноподібного руйнування каркасу (при виникненні якого слід передбачити додаткові в'язі, або підсилення), а також для правильного розподілення запасних виходів у разі небезпеки (для цивільних та громадських будівель із можливістю скупчення значної кількості натовпу).</p>	1	1	1	1	1

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
	Несвоєчасний ремонт та некоректна реконструкція	<p>1. Перевірка можливості конструкцій перекриття протистояти надмірним раптовим навантаженням внаслідок руйнування верхніх поверхів будівлі. Моделювання руйнування верхнього поверху із вилученням із роботи каркасу конструкції перекриття P_1, завантаження попереднього прольоту P_2 додатковими тимчасовими навантаженнями, що дорівнюють навантаженням від вилученого перекриття Q_1. Аналіз деформованої моделі.</p> <p>При виникненні лавиноподібного руйнування каркасу, слід взяти заходів з метою підсилення конструкцій, або передбачити проектом додаткові засоби усунення прогресуючого руйнування.</p> <p>При значних деформаціях каркасу, але без очевидного лавиноподібного руйнування, доцільно вилучити перекриття P_2 та провести завантаження послідуєчого перекриття нижчого ярусу P_3 із додатковими навантаженнями на конструкцію, що дорівнюють Q_1+Q_2.</p>	1	1	1	1	1
	Несвоєчасний, або неправильний демонтаж конструкцій каркасу	Представити можливі варіанти демонтажу споруди у разі виникнення такої необхідності. Зазначити особливі моменти роботи окремих конструкцій.	3	3	2	1	1

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	
Особливі аварії в залежності від конструкцій каркасу	Каркас конструкцій ЛСТК	Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$; $Q_2=1,2 Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом. Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі, перевірка імовірності виникнення снігових мішків, перевірка послідовності руйнування, із усуненням прогресуючого руйнування каркасу, за необхідності проведення підсилення конструкцій даху, або заміну конструкцій.	Індивідуальний підхід					
	Каркас із кам'яних конструкцій	Перевірка роботи конструкцій у разі можливого використання матеріалу низької якості, або його економії шляхом зміни жорсткості матеріалу у заданих значеннях при проектуванні каркасу. Моделювання падіння огорожуючої конструкції (стіни). Аналіз деформованої моделі у результаті змін. 1. Зміна жорсткості одного несучого елемента каркасу, де $E_1=0,5E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі. 2. Загальна зміна жорсткості усієї конструктивної схеми, де $E_1=0,7E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі. При виникненні можливого прогресуючого руйнування, або руйнування окремих елементів доцільно провести підсилення конструкцій із метою вилучення вірогідності такого виду аварії.	Індивідуальний підхід					

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Особливі аварії в залежності від району будівництва	Райони із надмірними опадами	<p>Перевірка роботи конструкцій каркасу у разі значного затоплення фундаментів та їх подальшого руйнування із метою дослідження на можливе виникнення прогресуючого руйнування.</p> <p>Проведення моделювання аварії каркасу будівлі шляхом вилучення із роботи конструкції фундаменту крайнього ряду. Аналіз деформованої моделі. При можливому лавиноподібному руйнуванні всього каркасу слід забезпечити стійкість методами підсилення конструкцій, або додатковими в'язями.</p>	Індивідуальний підхід				
	Сейсмонезбежні райони	<p>Перевірка роботи конструкцій каркасу у разі виникнення коливних навантажень на основу каркасу із метою дослідження на можливе виникнення прогресуючого руйнування. Моделювання проводиться шляхом задання додаткових навантажень на опори, із врахуванням сейсмічних коливань. Аналіз роботи каркаса, визначення значень навантажень, що здатні максимально протистояти лавиноподібному руйнуванню будівлі.</p>	Індивідуальний підхід				
	Гірські райони, або схили	<p>Дослідження ходу руйнування каркасу будівлі у результаті ґрунтових зсувів, шляхом зміни геометрії каркасу (зміна положення опор фундаментів). За проектом обирається два варіанти зсуву: зсув крайньої опори (або в залежності від каркасу будівлі – ділянки розміром 1x1 м) та провал фундаментів у центрі (опора, або ділянка розміром 1x1 м). При виникненні лавиноподібного руйнування слід передбачити можливе підсилення конструкцій каркасу, або встановлення додаткових в'язей.</p>	Індивідуальний підхід				

4.4. Опис виконання алгоритму

1. Розрахункові помилки (конструкції покриття) R2

Передумовами до впровадження етапу виконання моделювання можливості такої аварії є високий відсоток руйнування багатоповерхових будівель житлового призначення [130] у результаті помилок будівельників при підготовці будівельних розчинів, закупівля матеріалу, який не відповідає будівельним нормам, або використання матеріалу із міцнісними характеристиками на клас нижче запроектованого із метою економії коштів [50].

Даний сценарій включає перевірку роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1 = 1,05Q_0$; $Q_2 = 1,2Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом.

Перевірка роботи вузлових з'єднань конструкцій покриття. Задання горизонтальних та вертикальних навантажень на вузли із значенням $Q_1 = 1,2Q_2$.

Перевірка послідовності руйнування, із метою усунення прогресуючого руйнування каркасу. Вилучення, або утворення розриву ключового елемента перекриття у точці виникнення найбільшого моменту (визначається розрахунково), при прикладанні діючих сил запроектованих згідно будівельних стандартів та норм. При утворення лавиноподібного руйнування із переходом до руйнування вертикальних несучих конструкцій каркасу, необхідно провести підсилення покриття.

Перевірка імовірності виникнення снігових мішків. У містах можливого виникнення снігових мішків провести понаднормове завантаження конструкції перекриття $Q_1 = 1,5Q_2$.

2. Розрахункові помилки (несуча конструкція каркасу) R2

Даний сценарій включає перевірку роботи несучих та огорожуючих конструкцій, або інших конструкцій каркасу. Моделювання розрахункових вертикальних навантажень на несучі конструкції каркасу. Перевірка деформованої моделі на можливість прогресуючого руйнування будівлі.

Вибір конструкції каркасу повинен базуватися на розгляді найнебезпечнішої ділянки на об'єкті (включаючи місце максимального перебування людей, розташування великогабаритних, важкомонтованих потужностей виробництва, які можуть створювати додаткові критичні навантаження, включаючи вібраційні, на конструкції, або ділянки, на яких конструкції піддаються найбільше впливам агресивного середовища.

При виявленні значних деформацій на етапі 1, слід провести моделювання руйнування конструкції у результаті її деформації завантаженням на неї понаднормових зусиль, або, із метою дослідження імовірності прогресуючого руйнування каркасу – її повним вилученням.

3. Використання невідповідного матеріалу

При проектуванні за розрахункові значення величини, що характеризує міцність матеріалу конструкції (розрахунковий опір), приймається найменше значення із забезпеченістю 0,995. Це означає, що імовірність виявлення в сукупності матеріалу, що пройшов стандартний контроль, зразка з міцністю меншою за розрахунковий опір, не повинна перевищувати 0,005. Характеристичні опори матеріалів (бракувальний мінімум межі текучості сталі, клас міцності бетону) встановлюються із забезпеченістю 0,95. Для існуючих об'єктів, які мають бути збережені при реконструкції, за розрахунковий опір матеріалу приймається нижня допустима межа інтервалу, що одержується за вибіркою даних випробувань і гарантує з довірчою ймовірністю 0,95, що не менше 95% випадкових значень величини, яка розглядається, розташовується вище цієї межі [109].

При моделюванні можливого виникнення аварій в результаті використання неякісного матеріалу проводиться перевірка роботи конструкцій у разі можливого використання матеріалу низької якості, або його економії шляхом зміни міцності матеріалу конструкції у заданих значеннях при проектуванні каркасу. Проводиться аналіз деформованої моделі у результаті змін.

1 Зменшення несучої здатності одного несучого елемента каркасу, шляхом зменшення його розрахункового опору f на один клас міцності, при початковому рівні напруження $\frac{\sigma}{f} \leq 1$. Проводиться аналіз деформованої моделі.

Для врахування зниження міцності матеріалу f_{er} під час виникнення помилок наведених в п. 2.4. вводиться коефіцієнт:

$$f_{er} = kf_{mat} \quad (4.2)$$

Де k – коефіцієнт зниження міцності матеріалу і залежності від помилок.

$$k = 1 - \sum(P(R_{1.1}) + P(R_{1.3})) \leq 1, \quad (4.3)$$

де $R_{1.1}$ – можливі помилки будівельників (Рис. 4.8);

$R_{1.3}$ – можливість використання неякісного матеріалу (Рис. 4.8).

Якщо $k=1$ – приймається умова виключення можливості використання невідповідного матеріалу на будівельному об'єкті.

Для визначення ймовірності виникнення аварії саме типів $R_{1.1}$ та $R_{1.3}$ при руйнуванні будівлі в результаті недотримання норм та технологій, використовуємо формулу Байєса.

$$P(R) = P(R_{1.1}^* / R_{1.1})P(R_{1.1}) + P(R_{1.3}^* / R_{1.3})P(R_{1.3}) \quad (4.4)$$

Де $R_{1.1}^*$ та $R_{1.3}^*$ - умови відсутності аварій даного типу.

Імовірність виникнення аварії (за умови, що аварія виникне у будь-якому разі) у результаті помилок будівельників $P(R_{1.1})=0.785$, а за причини використання невідповідного матеріалу $P(R_{1.3})=0.215$.

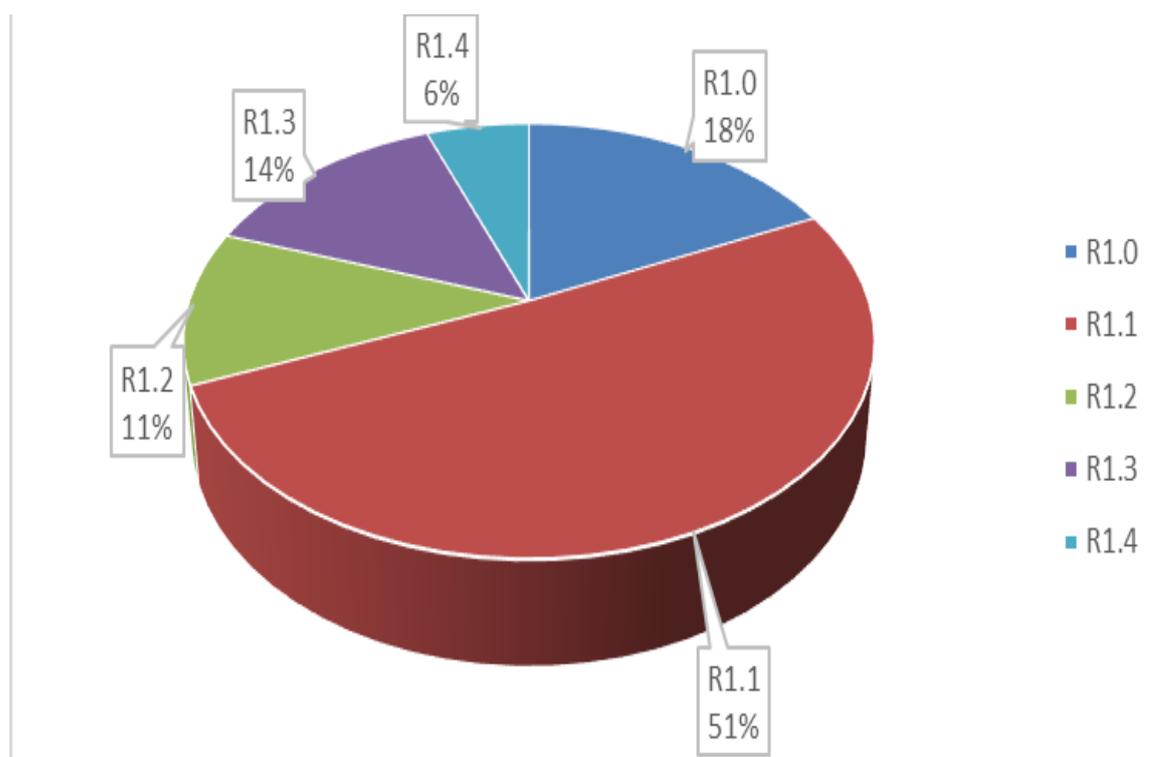


Рис. 4.8. Діаграма відсоткового співвідношення аварій у будівництві в результаті недотримання будівельних норм та технологій за 2000-2022 рр. за результатами аналізу аварій будівель та споруд (розділ 3) де R1.0 – аварія у результаті недотримання будівельних норм без вказаних більш детальних причин, R1.1 – аварія через помилки будівельників, R1.2 – через ведення незаконного будівництва, R1.3 – через використання неякісних матеріалів, R1.4 – через недотримання техніки безпеки

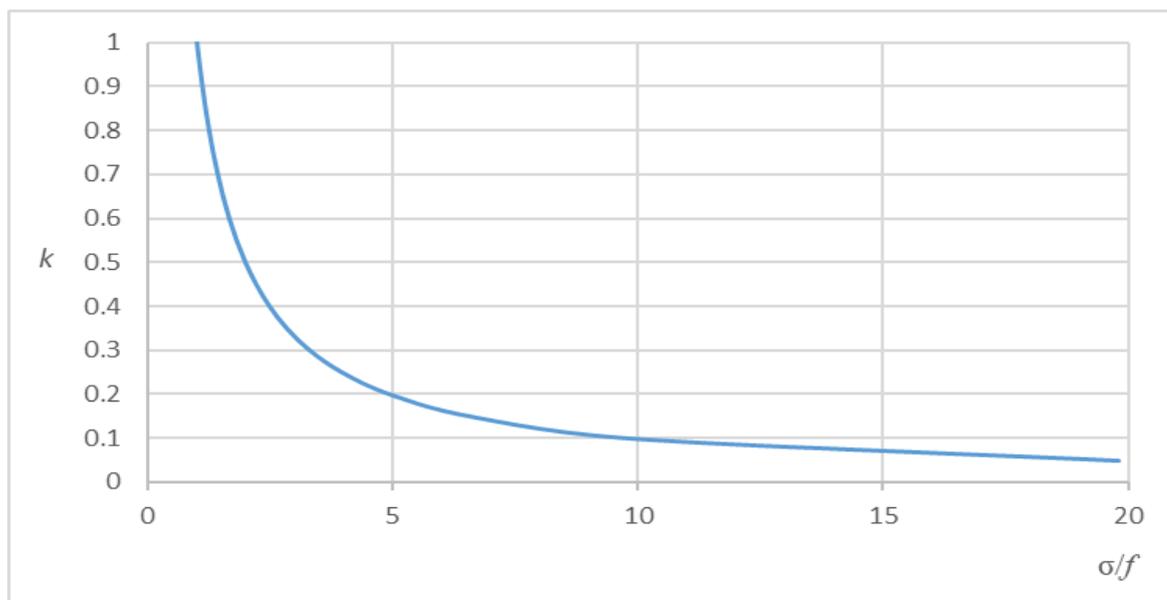


Рис. 4.9. Діаграма залежності коефіцієнта зниження міцності матеріалу від несучої здатності конструкції

Таблиця 4.2

Значення коефіцієнта для будівель різного типу призначення

Тип будівлі	Імовірність R1.1	Імовірність R1.3	Значення коефіцієнту k
Багатоповерхова житлова	0,5	0,241	0,5
Одноповерхова житлова	0,333	0,001	0,7
Цивільна, громадська	0,69	0,034	0,4
Промислова будівля	0,667	0,001	0,4
Споруда	0,667	0,167	0,4

2 Зміна жорсткості декількох несучих елементів каркасу на одній ділянці будівельного об'єкту $E = 0,8E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції. Аналіз деформованої моделі.

3 Загальна зміна жорсткості усієї конструктивної схеми, де $E_1 = 0,9E_0$, де E_0 – початкова жорсткість конструкції з матеріалу. Аналіз деформованої моделі.

При виникненні можливого прогресуючого руйнування, або руйнування окремих елементів доцільно провести підсилення конструкцій із метою вилучення вірогідності такого виду аварії.

При проведенні моделювання аварії такого типу варто звертати увагу на район будівництва та економічну стабільність держави, в якій проводить будівництво. Таким чином, для країн із підвищеним рівнем виникнення аварій такого типу (Індія, Єгипет) даний етап моделювання є обов'язковим.

4. Порушення норм будівництва, відхилення від проекту

Перевірка роботи каркасу із заміною в статично невизначеній системі видів в'язей (здебільшого перекриття). Аналіз деформованої моделі.

5. Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові навантаження на конструкції перекриття верхніх прольотів)

Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горищного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (зберігання будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати довготривалі навантаження на перекриття у двох варіантах: рівнорозподілені із значенням $q_1 = 1,5q_0$ та зосереджені зусилля F (розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття). Аналіз деформованої моделі.

6. Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові вібраційні навантаження у вузлах верхніх прольотів каркасу)

Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горіщного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (складування будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати навантаження на перекриття тимчасові вібраційні у вигляді зосереджених зусиль F , що розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття (за принципом моделювання аварії торговельного центру Sampoong [145] (Рис. 4.9). Аналіз деформованої моделі.

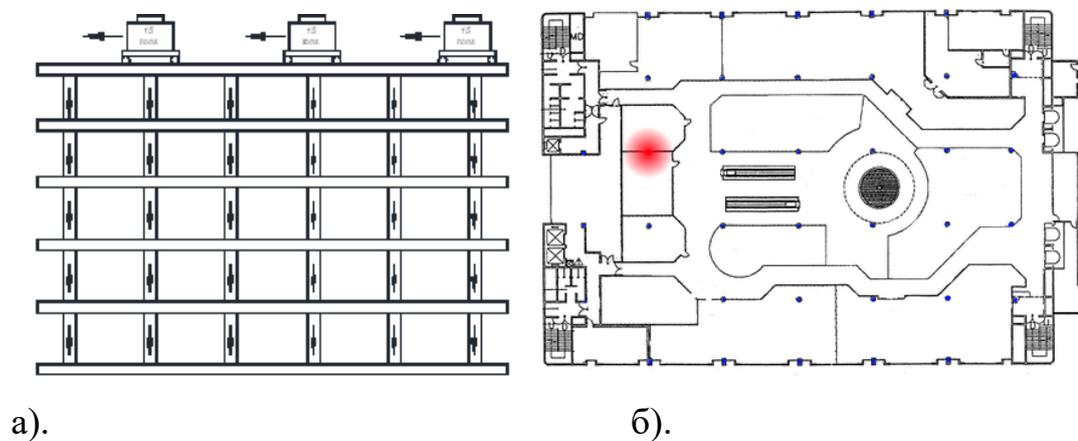


Рис. 4.10. Схема вібраційних навантажень на (а) та місце локалізації тріщин (б) у торговельному центрі Sampoong

7. Імовірнісне виникнення вибуху

Перевірка загальної стійкості каркасу будівельного об'єкту у разі виникнення раптового вибуху (наприклад, збереження вибухонебезпечних матеріалів, терористичний акт).

Для вибору ділянки руйнування необхідно провести аналіз потужностей будівельного об'єкту, за наявності, стратегічно важливого обладнання чи приміщень. Також необхідно провести аналіз ймовірної кількості людей, що перебуватимуть на об'єкті постійно та тимчасово. В залежності від типу будівлі (для громадської будівлі обирається ділянка із найбільшою ймовірною потоковою (тимчасовою) кількістю людей (зали

зібрань, приймальні холи і т.д.), для житлових розраховується загальна можлива постійна кількість людей на об'єкті) обирається ділянка, що відповідає найбільшому рівню відповідальності – внаслідок руйнування несучих конструкцій на даній ділянці виникає найбільший рівень економічних та неекономічних наслідків.

За площу руйнування береться окремий проліт каркасу конструкцій: для житлового будинку – сходові клітини під'їзду; для громадської, цивільної та промислової будівель – квадрат кроку колон чи інших вертикальних несучих конструкцій; для споруд – індивідуальна ділянка, згідно плану та розрахунку.

На основі отриманої візуальної 3Д моделі каркасу проводиться вилучення вертикальних та горизонтальних конструкцій. Проводиться аналіз роботи каркасу, досліджується перебіг руйнування.

Моделювання проводиться для можливості максимальної ліквідації утворення різкого лавиноподібного руйнування каркасу (при виникненні якого слід передбачити додаткові в'язі, або підсилення), а також для правильного розподілення запасних виходів у разі небезпеки (для цивільних та громадських будівель із можливістю скупчення значної кількості натовпу).

8. Несвоєчасний ремонт та некоректна реконструкція

Перевірка можливості конструкцій перекриття протистояти надмірним раптовим навантаженням внаслідок руйнування верхніх поверхів будівлі. Моделювання руйнування верхнього поверху із вилученням із роботи каркасу конструкції перекриття P_1 , завантаження попереднього прольоту P_2 додатковими тимчасовими навантаженнями, що дорівнюють навантаженням від вилученого перекриття Q_1 . Аналіз деформованої моделі.

При виникненні лавиноподібного руйнування каркасу, слід вжити заходів з метою підсилення конструкцій, або передбачити проектом додаткові засоби усунення прогресуючого руйнування.

При значних деформаціях каркасу, але без очевидного лавиноподібного руйнування, доцільно вилучити перекриття Π_2 та провести завантаження послідуочого перекриття нижчого ярусу Π_3 із додатковими навантаженнями на конструкцію, що дорівнюють Q_1+Q_2 .

9. Несвоєчасний, або неправильний демонтаж конструкцій каркасу

Розробка можливих варіантів демонтажу споруди у разі виникнення такої необхідності. Зазначити особливі характеристики роботи окремих конструкцій.

10. Особливі аварії в залежності від конструкцій каркасу

Із метою можливості пристосування розробленого алгоритму для різних типів каркасів доцільно впровадити пункт **Особливі аварії в залежності від конструкцій каркасу**. У подальшому це дасть можливість розробляти сценарії аварій із врахуванням специфіки конструювання різних типів каркасів.

В даному пункті алгоритму приведені лише декілька прикладів на основі кам'яних конструкцій та ЛСТК [29], так як саме їх конструктивні особливості були дослідженні в аналізі аварій будівель та споруд поміж стандартних каркасів.

Таким чином для моделювання сценарію аварії будівлі ЛСТК необхідно наступне:

- Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$; $Q_2=1,2 Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом.
- Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі, перевірка імовірності виникнення снігових мішків, перевірка послідовності руйнування, із усуненням прогресуючого руйнування каркасу, за необхідності проведення підсилення конструкцій даху, або заміну конструкцій.

Для даного каркасу застосовується індивідуальний підхід у визначенні першочерговості (значущості) етапів моделювання.

11. Особливі аварії в залежності від району будівництва

При необхідності варто враховувати особливості району будівництва у ході проведення моделювання можливого виникнення аварії. Таким чином, до переліку моделювання аварій входять: райони із надмірними опадами, сейсмічно небезпечні райони, а також гірські райони, або схили.

Для районів із надмірними опадами проводиться перевірка роботи конструкцій каркасу у разі значного затоплення фундаментів та їх подальшого руйнування із метою дослідження на можливе виникнення прогресуючого руйнування.

Проведення моделювання аварії каркасу будівлі шляхом вилучення із роботи конструкції фундаменту крайнього ряду. Аналіз деформованої моделі. При можливому лавиноподібному руйнуванні всього каркасу слід забезпечити стійкість методами підсилення конструкцій, або додатковими в'язями.

Для сейсмічно небезпечних районів проводиться перевірка роботи конструкцій каркасу у разі виникнення коливних навантажень на основу каркасу із метою дослідження на можливе виникнення прогресуючого руйнування. Моделювання проводиться шляхом задання додаткових навантажень на опори, із врахуванням сейсмічних коливань. Аналіз роботи каркаса, визначення значень навантажень, що здатні максимально протистояти лавиноподібному руйнуванню будівлі.

Для гірських районів, або схилів проводиться дослідження руйнування каркасу будівлі у результаті ґрунтових зсувів, шляхом зміни геометрії каркасу (зміна положення опор фундаментів). За проектом обирається два варіанти зсуву: зсув крайньої опори (або в залежності від каркасу будівлі – ділянки розміром 1x1 м) та провал фундаментів у центрі (опора, або ділянка розміром 1x1 м). При виникненні лавиноподібного руйнування слід передбачити можливе підсилення конструкцій каркасу, або встановлення додаткових в'язей.

4.5. Аналіз деформованої моделі

Аналіз деформованої моделі проводиться із метою визначення вірогідності виникнення прогресуючого руйнування на будівельному об'єкті внаслідок можливого виникнення аварії одного із представлених типів та забезпечення захисту будівель від прогресуючого руйнування. Аналіз доцільно проводити методом граничної рівноваги.

Після проведення всіх етапів моделювання каркасу методами скінчених елементів та граничної рівноваги, та розробки сценарію аварійної ситуації на будівельному об'єкті, проводиться аналіз відповідної моделі на реагування до локальних руйнувань різного типу (в залежності від вихідних умов проведення алгоритму). Визначаються:

- можливість прогресуючого руйнування при умові, що таке руйнування не можливе коли зусилля є меншими ніж несуча здатність конструкції;
- конструктивні елементи, які в ході моделювання аварії втрачають свою цілісність;
- найбільш небезпечні місця, де виникають локальні руйнування, що в подальшому можуть призвести до прогресуючого руйнування всієї будівлі;
- загальний прогноз руйнування, із метою передчасного планування відновлювальних робіт.

Визначення можливості прогресуючого руйнування проводиться за формулою [20]:

$$DCR = Q_{UD} / Q_{CE} \quad (4.5)$$

де DCR – коефіцієнт обсягу впливу (Demand Capacity Ratio);

Q_{UD} – зусилля, які витримують елементи або вузли при впливах більше граничних (до них належать зусилля стиску, згину, зсуву і т.д.);

Q_{CE} – граничні зусилля елементів або вузлів.

Можливість прогресуючого руйнування для типових конструкцій складає $DCR > 2$, для унікальних конструкцій $DCR > 1,5$.

Для всіх типів аналізу будівля, що проектується, задовольняє вимогам забезпечення надійності, якщо жоден із первинних або вторинних елементів, компонентів або з'єднань не перевищує допустимі критерії приведені вище. Якщо у ході проведення аналізу будь-який елемент каркасу не відповідає даним критеріям, будівля не задовольняє вимогам забезпечення надійності і повинна бути перепроєктована, із метою усунення невідповідності елементів.

Тобто, якщо при моделюванні аварії представленого алгоритму, умова міцності не виконується, то постає необхідність у посиленні несучої здатності будівлі. Цього можна досягти за рахунок додаткових несучих елементів, або підсиленням вже існуючих.

Із метою попередження прогресуючого руйнування у результаті виникнення лавиноподібних руйнувань у ході проведення алгоритму, рекомендовано:

- Провести облік локальних руйнувань в результаті моделювання можливого виникнення аварії за представленим алгоритмом;
- Рекомендувати використання пластично-деформованих матеріалів та конструкцій у проектуванні;
- Підвищити рівень статичної невизначеності системи (конструкції) зменшенням кількості шарнірних елементів;
- Для більш складних конструктивних схем рекомендується всі конструктивні елементи забезпечити мінімальним ступенем безперервності та горизонтальним та вертикальним з'єднанням між собою;
- Для горизонтальних елементів забезпечити стійкість до бічних навантажень.

4.6. Висновки по розділу

Для досягнення поставленої задачі роботи були сформульовані основні положення алгоритму проведення моделювання.

Визначені основні етапи проведення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі, які включають в себе: визначення типу будівлі, визначення послідовності моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, аналіз та висновки по деформованій моделі каркасу.

На підставі основних положень розрахунків економічних та неекономічних наслідків аварій в будівництві, був розроблений алгоритм процесу розрахунків економічних та неекономічних наслідків [111, 119, 120, 125].

Визначена залежність алгоритму моделювання можливої аварії від аналізу аварій будівель та споруд.

Визначено порядок виконання алгоритму для рівнів значущості 1, 2, 3 в залежності від типу будівлі та її класу відповідальності.

Відповідно до поставлених задач дисертаційної роботи, було розроблено алгоритм моделювання сценарію аварії на будівельному об'єкті, що проектується. Алгоритм представлений ґрунтуючись на дослідженні аналізу аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр., розподілений на класифікацією аварій (розділ 3) та включає в собі сценарії найбільш можливих аварій, визначених за статистичною інформацією.

Основні характеристики алгоритму наступні:

- Виконується на основі об'ємної моделі каркасу будівлі;
- Сценарії аварій досліджуються в залежності від класу відповідальності будівлі та її типу (рівні значущості);
- Аналіз проведеного моделювання проводиться на можливість будівлі протистояти прогресуючому руйнуванню;
- Враховуються економічні та неекономічні наслідки сценарію руйнування;
- Якщо у ході моделювання виникають лавиноподібні руйнування, представлений перелік рекомендацій, щодо усунення можливості прогресуючого руйнування каркасу.

Надані рекомендації використання алгоритму, із метою попередження прогресуючого руйнування у результаті виникнення лавиноподібних руйнувань, які включають в себе проведення обліку локальних руйнувань, використання пластично-деформованих матеріалів та конструкцій у проектуванні, підвищення рівня статичної невизначеності системи, забезпечення стійкості до бічних навантажень для горизонтальних елементів та забезпечення мінімальним ступенем безперервності та горизонтальним та вертикальним з'єднанням між собою для всіх конструктивних елементів.

В роботі визначено розрахункові положення, при розрахункових помилках (конструкції покриття), розрахункових помилках (несуча конструкція каркасу), використанні невідповідного матеріалу, порушенні норм будівництва, відхиленні від проекту.

Даний алгоритм є доцільним до виконання на етапі проектування. Мета такого алгоритму у забезпеченні здатності конструкції витримувати понаднормові навантаження і не призводити до ланцюга поетапного виходу із ладу несучих елементів каркасу, що в свою чергу може призвести до обвалення будівлі або споруди.

РОЗДІЛ 5

РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ АВАРІЇ НА БУДІВЕЛЬНОМУ ОБ'ЄКТІ

5.1. Створення розрахункової схеми будівлі що проектується та розроблення її об'ємної моделі

Стійкість будівель проти руйнування повинна перевірятися розрахунком та забезпечуватися конструктивними заходами. Розрахунок стійкості каркасних будівель необхідно проводити при найбільш небезпечній схемі локального руйнування.

При розрахунку стійкості каркасних будівель за найбільш небезпечною схемою локального руйнування розрахункові значення моментів та поперечних сил збільшуються на 10 – 20 %.

Для рішення задач, які розглянуті в даній роботі додатково була сформована розрахункова модель трьохповерхової будівлі з безбалковим перекриттям з монолітного залізобетону. Крок колон 6 м. Будівля 3 поверхова. Відмітка позначки чистої підлоги 1 поверху -1.000, 2 поверху +3.600, 3 поверху +8.400, відмітка верху залізобетонних колон +8.400. Перекриття – монолітне залізобетонне товщиною 270 мм, корисне характеристичне навантаження 15 кН/м² (1500 кг/м²) [115]. На покрівлі передбачено встановлення сонячних модулів. Покрівля з ПВХ мембрани, утеплена по сталевому профільному настилу та сталевим прогонам. Вертикальні в'язі будівлі встановлені відповідно до схеми та поперечних розрізів (додаток Б) з можливістю переносу за технологічними умовами. Залізобетонні колони перерізом 600х600 мм. Бетон конструкцій класу С25/30.

Були прийняті наступні етапи розрахунку:

- Статичний розрахунок будівлі по розрахунковим навантаженням та опорам матеріалів для граничних станів 1 та 2 груп. Жорсткісні характеристики матеріалів – умовні, прийняті однаковими окремо для перекриттів та колон;

- Визначення армування перекриття по статичному розрахунку, корегування зон армування плити перекриття по максимальним прольотним моментам та принципу неперервності та симетричності в розтягнутих зонах зі збереженням розрахункового армування надпорних зон;
- Введення трьохлінійних діаграм деформування для бетону та дволінійної діаграми для арматури згідно.

Конструкція розглянута як система рам з жорсткими вузлами, які розташовані в двох взаємно перпендикулярних напрямках. В монолітній конструкції кожна рама сформована колонами та смугою перекриття, яка дорівнює по ширині відстані між серединами двох прольотів, суміжних до відповідного ряду колон. Задача згину системи плит вирішена методом скінченних елементів. Зусилля для розрахунку верхньої арматури над опорами визначені із урахуванням ширини обпирання плит. Безбалкова конструкцію розрахована на навантаження рівномірно розподілені по всьому перекриттю або його частині.

Навантаження, які діють на перекриття, приблизно приведені до еквівалентних рівномірно розподілених навантажень по згинальним моментам, поперечним силам або деформаціям в залежності від граничних станів, по яким проводиться розрахунок. При розрахунку окремих частин конструкції (наприклад на продавлювання) врахований дійсний характер навантаження.

Конструкції розраховані на міцність, деформативність та розкриття тріщин при дії статичного навантаження. Динамічні розрахунки та розрахунок на витривалість виконані за необхідності. Міцність (несуча здатність) елементів каркасу визначена на підставі розрахунку рам з урахуванням перерозподілу зусиль.

Для створення розрахункової схеми каркасу споруди використовувалися програмні комплекси СКАД та ЛІРА. Під час розроблення розрахункової схеми проводився розрахунок навантажень на

каркас будівлі.

Після проведення генерації просторової рами, було призначено жорсткості та матеріали елементам схеми (Рис. 5.1).

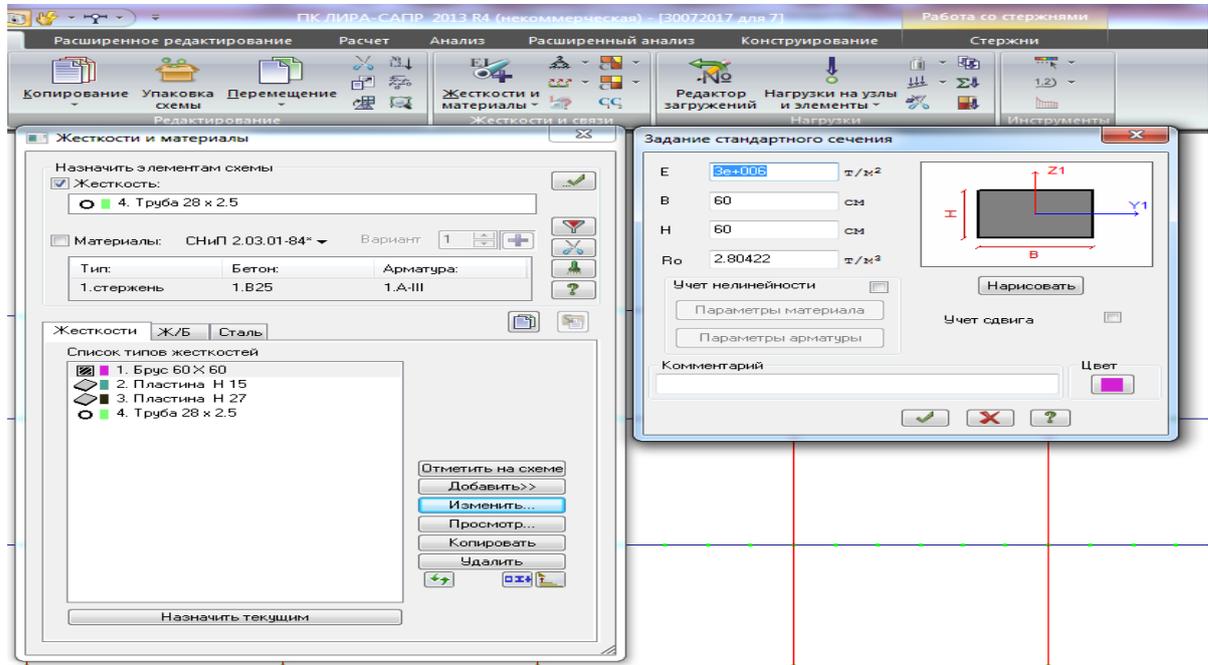


Рис. 5.1. Призначення жорсткості елементам схеми

Для того, аби у вузлах заборонити переміщення (жорстке закріплення) встановили у діалоговому вікні “Связи в узлах” відмітку призначення в’язів. Після визначення навантажень, що діють на каркас споруди, прикладаємо їх на конструкції. Встановлення навантаження на елементи показано Рис. 5.2.

Після виконаних операцій модель набуде вигляду, як показано на Рис. 5.3.

Таким чином, здійснивши відповідний розрахунок, визначаємо напруження, які виникають в каркасі під час дії даних навантажень (Рис. 5.4 – Рис. 5.6)

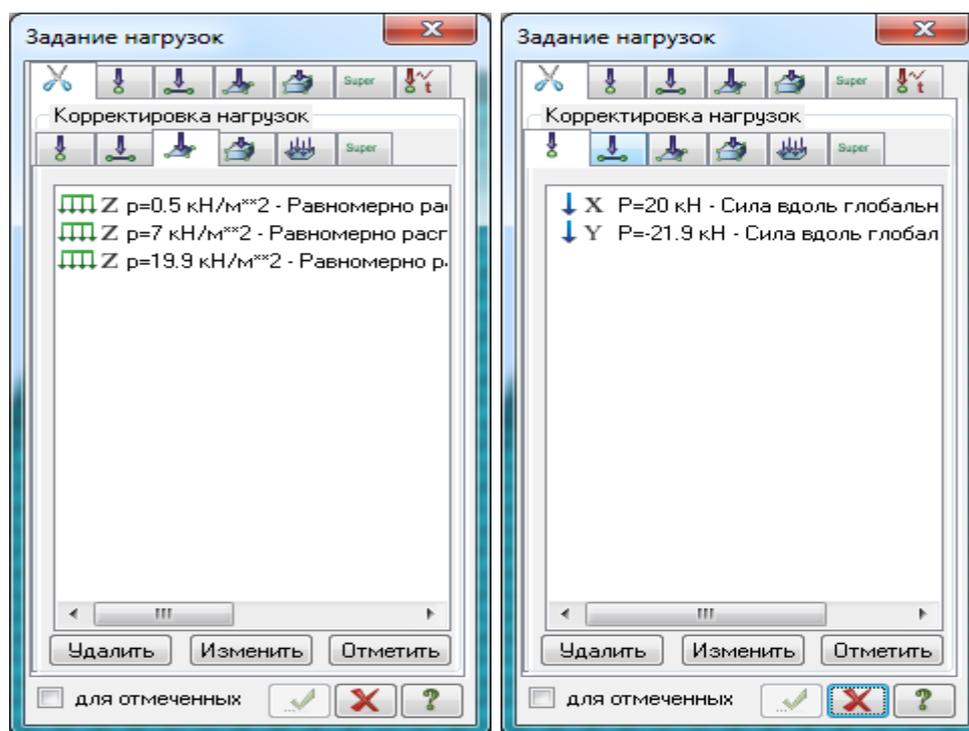


Рис. 5.2. Призначення жорсткості елементам схеми

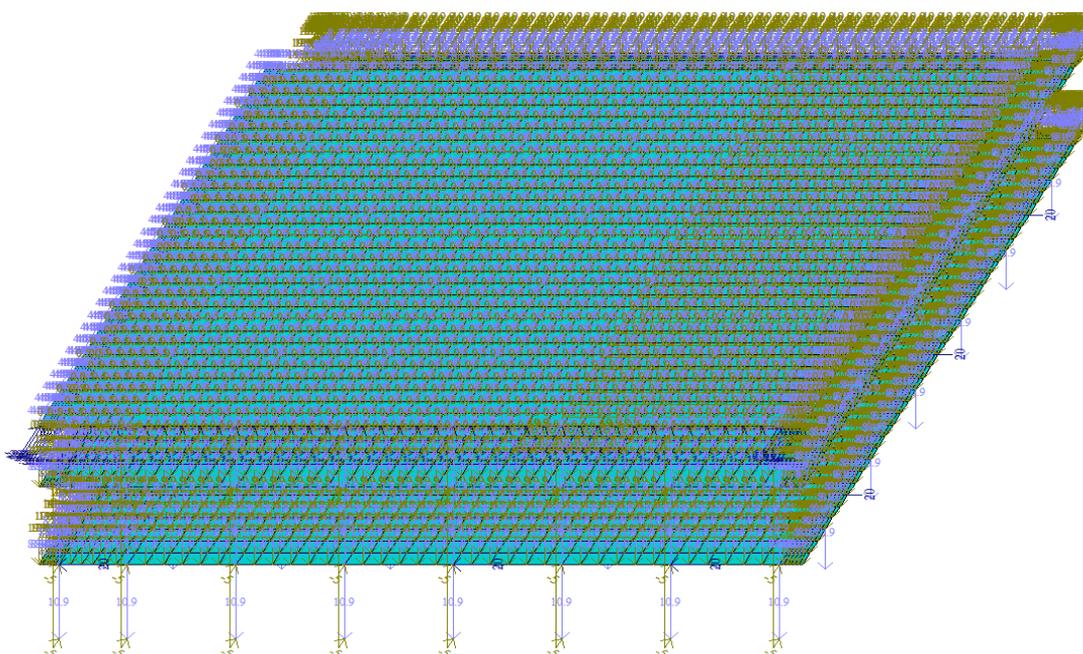


Рис. 5.3. Вигляд моделі після прикладання навантажень

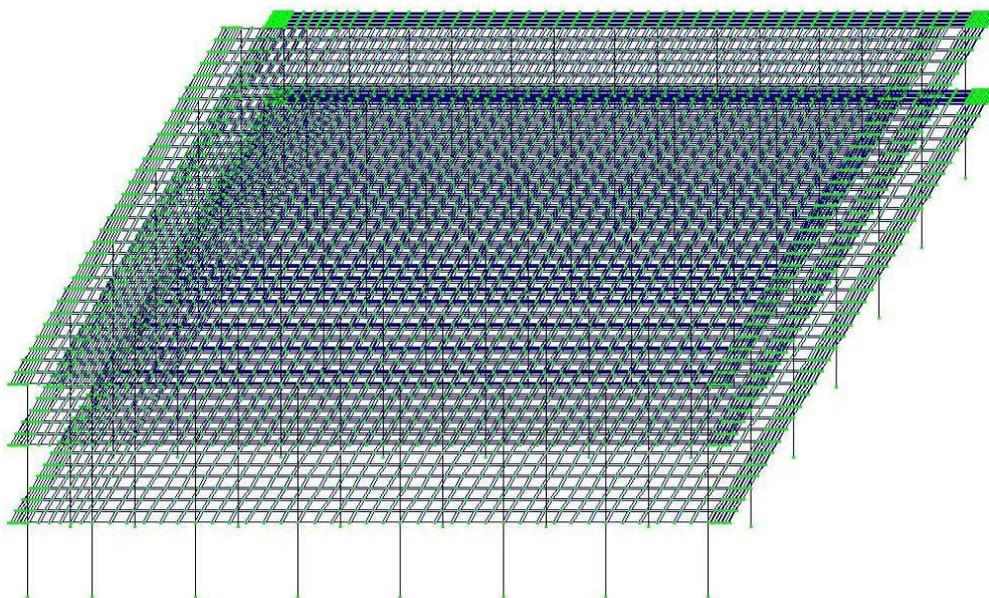


Рис. 5.4. Розрахункова схема

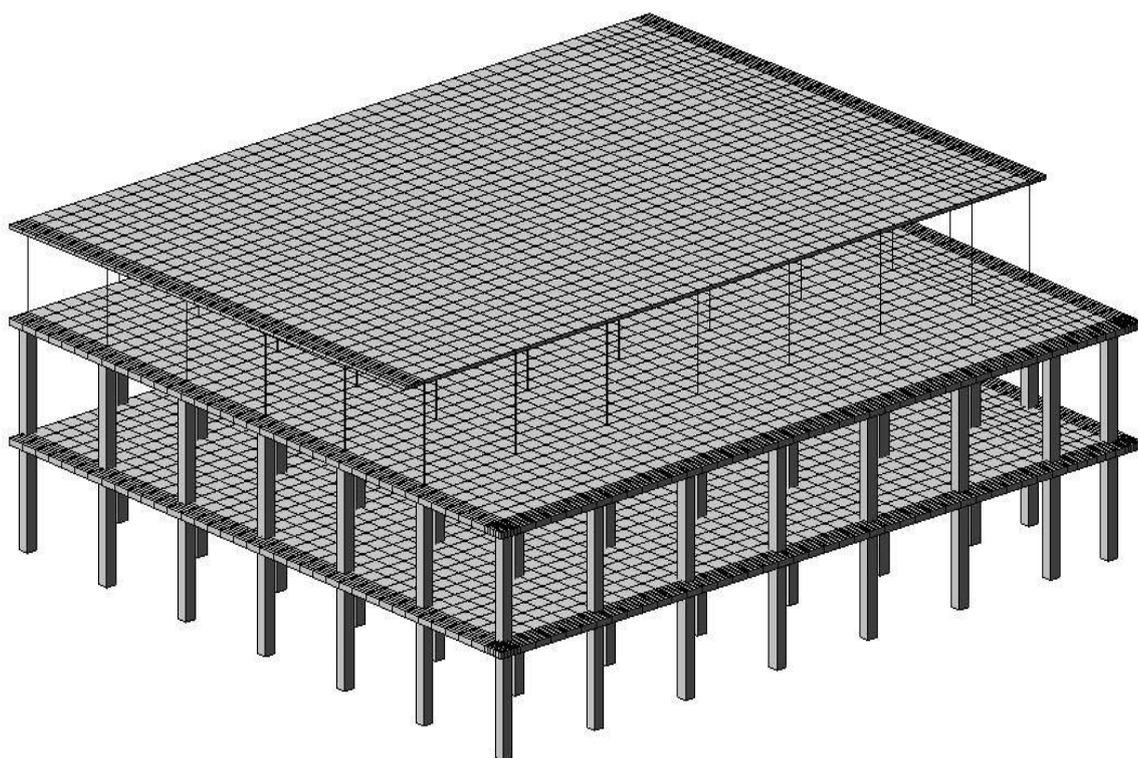


Рис. 5.5. Модель споруди, що проектується, із заданими конструктивними елементами

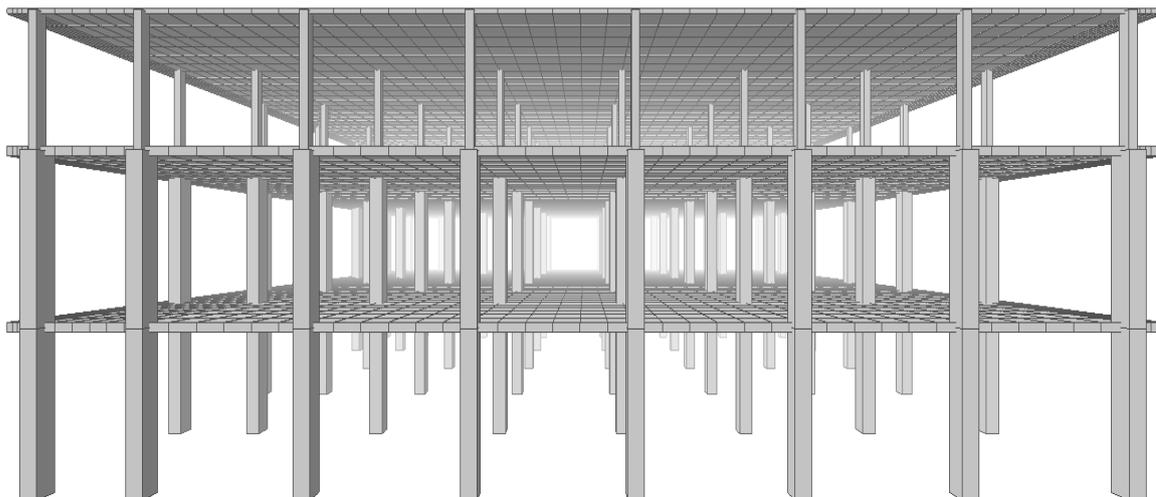


Рис. 5.6. Об'ємна модель споруди що проектується

Рівень значущості виконання алгоритму в залежності від типу будівлі має на меті розмежування етапів моделювання виникнення можливої аварії на будівельному об'єкті.

Рівень значущості 1 – відповідає усім типам моделювання на розрахунків можливого виникнення аварії, які відносяться до обов'язкових у ході виконання проектування.

Рівень значущості 2 - відповідає усім типам моделювання на розрахунків можливого виникнення аварії, які відносяться до необхідних, але не обов'язкових у ході виконання проекту.

Рівень значущості 3 - відповідає усім типам моделювання на розрахунків можливого виникнення аварії, які відносяться до рекомендованих у ході виконання проекту.

5.2. Стратегія виконання алгоритму проведення моделювання та аналізу виникнення можливої аварії на будівельному об'єкті, що проектується

5.2.1. Виконання алгоритму за рівнем значущості 1

Для представленої промислової будівлі етапи проведення алгоритму представлені у вигляді блок схеми на Рис. 5.7.

Дана блок схема виконана на основі представленого алгоритму та представляє собою перший і основний розрахунок для даного каркасу. У даному підході розглядаються можливість виникнення руйнувань на етапі будівництва та введення в експлуатацію та на етапі експлуатації. Будівля не має особливих проектних рішень у використанні конструкцій каркасу та району будівництва, що у свою чергу не вимагає проведення індивідуального підходу до моделювання.

Таким чином, основний загальний аналіз моделювання можливого виникнення аварії буде складати розгляд 6 сценаріїв аварії для даного будівельного об'єкта.

Для проведення аналізу моделювання було використано «Інструкції з аналізу прогресуючого руйнування та проектування нових федеральних офісних будівель і великих проектів модернізації» розроблені адміністрацією загальних служб США (GSA) [20]. Дані постанови розроблені із метою переконатися, що потенціал прогресуючого руйнування враховується при проектуванні, плануванні та будівництві нових будівель і капітального ремонту.

Підхід до розрахунку заснований на Demand Capacity Ratio (DCR) для конструктивних елементів і порівнює значення DCR з пороговими значеннями для виявлення руйнування конструкції.

DCR розраховується за такою формулою:

$$DCR = Q_{UD} / Q_{CE} \quad (5.1)$$



Рис. 5.7. Алгоритм моделювання 1 рівня значущості можливого виникнення аварій промислової будівлі

де Q_{ud} – внутрішні зусилля отримані в елементі (згинальний момент, осьова повздовжня сила, поперечні зусилля, або/та комбінації зусиль), визначається за аналізом пружної роботи конструкції.

Q_{ce} – розрахункова міцність елемента (згинальний момент, осьова повздовжня сила, поперечні зусилля, або/та комбінації зусиль).

Допустимі значення DCR для конструктивних елементів наступні:

- 1) DCR < 2,0 для типової конструктивної системи,
- 2) DCR < 1,5 для унікальної конструктивної системи.

5.2.1.1. Етап будівництва та введення в експлуатацію (рівень значущості 1).

Розрахункові помилки (конструкції покриття)

Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом.

У роботі було проведено моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$ (Рис. 5.8)

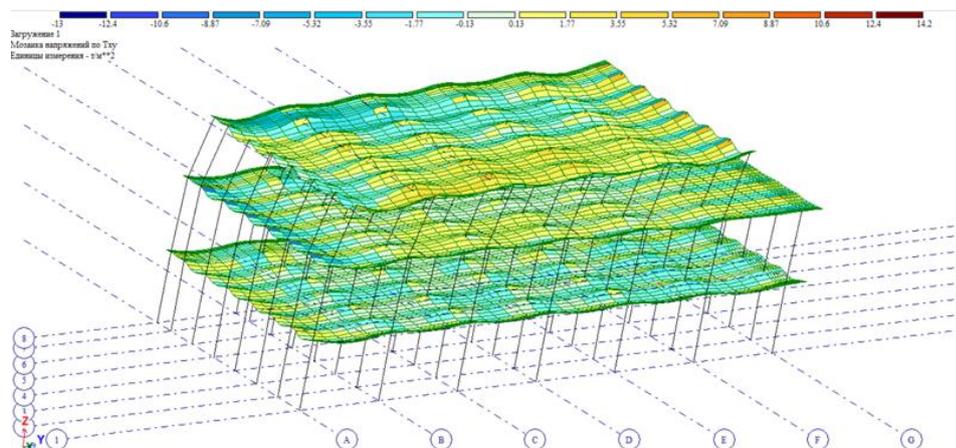


Рис. 5.8. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання надмірних снігових навантажень,

завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1=1,05Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.2

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1	1	1	1	1

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_2=1,2Q_0$, де Q_0 – снігові навантаження розраховані за проектом.

У роботі було проведено моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень $Q_1 = 1,2Q_0$ (Рис. 5.9).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

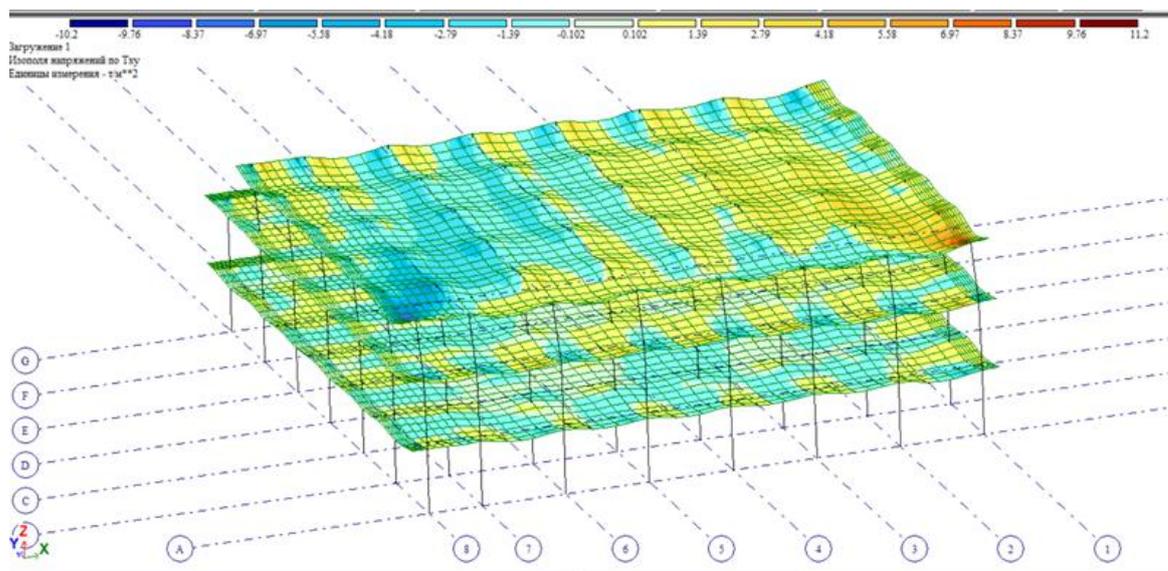


Рис. 5.9. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання надмірних снігових навантажень, завантаженням конструкції покриття у три етапи для двох типів завантажень

$$Q_2 = 1,2Q_0$$

Таблиця 5.3

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1	1.001294	1.109758	1.132571	1.188711

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Перевірка роботи вузлових з'єднань конструкцій покриття.
Задання горизонтальних та вертикальних навантажень на вузли із значенням $Q1=1,2Q2$.

У роботі було проведено моделювання роботи вузлових з'єднань конструкцій покриття. Задання горизонтальних та вертикальних навантажень на вузли із значенням $Q_1 = 1,2Q_0$ (

Рис. 5.10).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

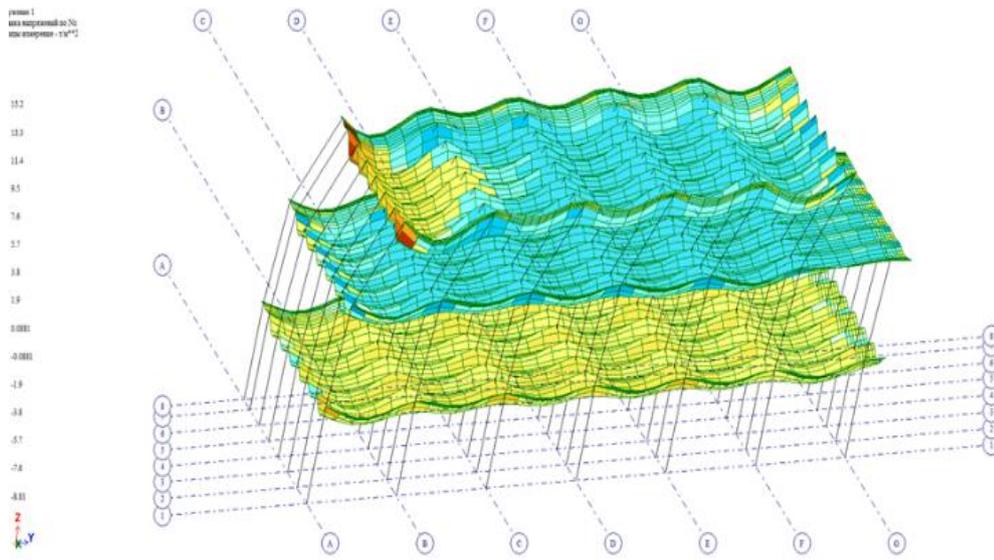


Рис. 5.10. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання роботи вузлових з'єднань конструкцій покриття. Задання горизонтальних та вертикальних навантажень на вузли із значенням $Q_1 = 1,2Q_2$

Таблиця 5.4

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.005187	1.010555	1.982224	1.420503	1.241731

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Перевірка послідовності руйнування, із метою усунення прогресуючого руйнування каркасу.

Для перевірки послідовності руйнування, із метою усунення прогресуючого руйнування каркасу проведено моделювання роботи конструкції (Рис. 5.11).

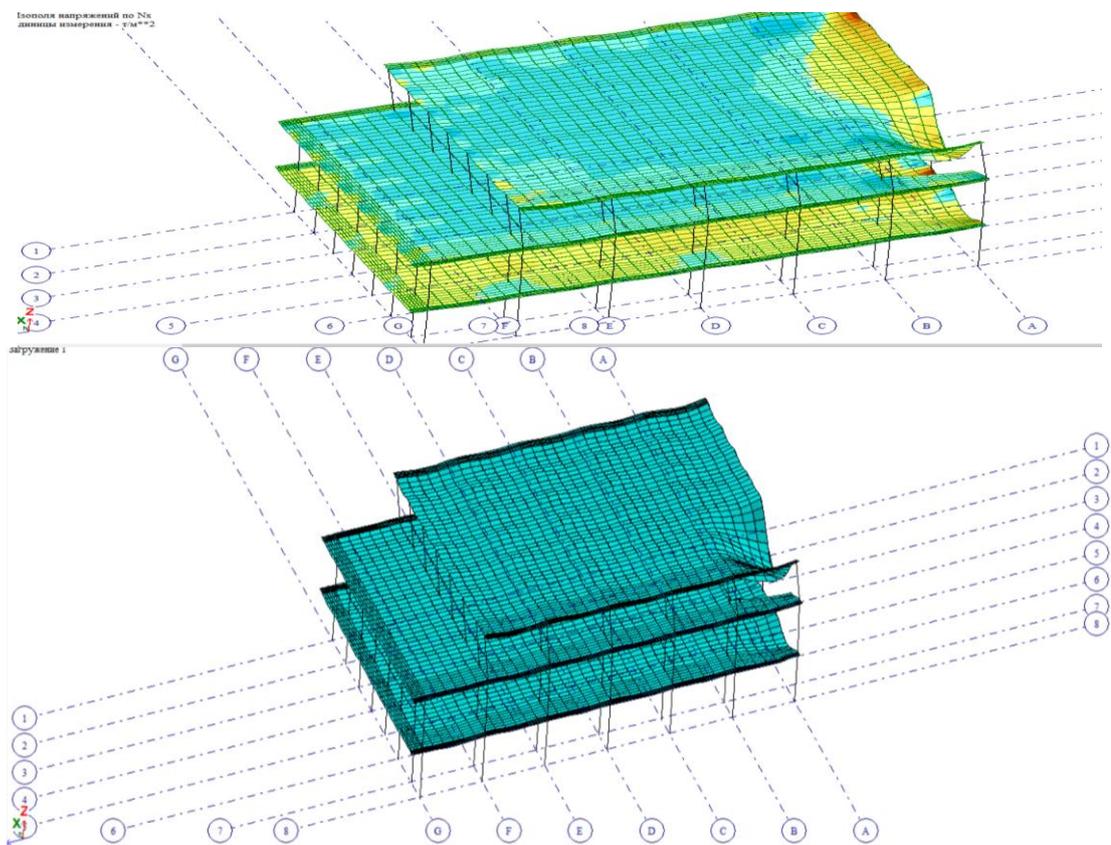


Рис. 5.11. Напружено-деформований стан моделі для перевірки послідовності руйнування, із метою усунення прогресуючого руйнування каркасу

Вилучення, або утворення розриву ключового елемента перекриття у точці виникнення найбільшого моменту.

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.386478	1.006494	3.983375	8.753371	3.57844

DCR перевищує норму для згинальних моментів в елементі 2333 (колона), поздовжніх зусиллях в елементі 2335 (колона) та поперечних зусиллях в елементі 2333 (колона).

Загальна площа руйнування: $15 \times 6 = 90 \text{ м}^2$

Лавиноподібне руйнування відсутнє, але наявне локальне руйнування елементів каркасу.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Перевірка імовірності виникнення снігових мішків. У містах можливого виникнення снігових мішків провести понаднормове завантаження конструкції перекриття $Q1=1,5Q2$

Для перевірки імовірності виникнення снігових мішків проведено моделювання роботи конструкції (Рис. 5.12).

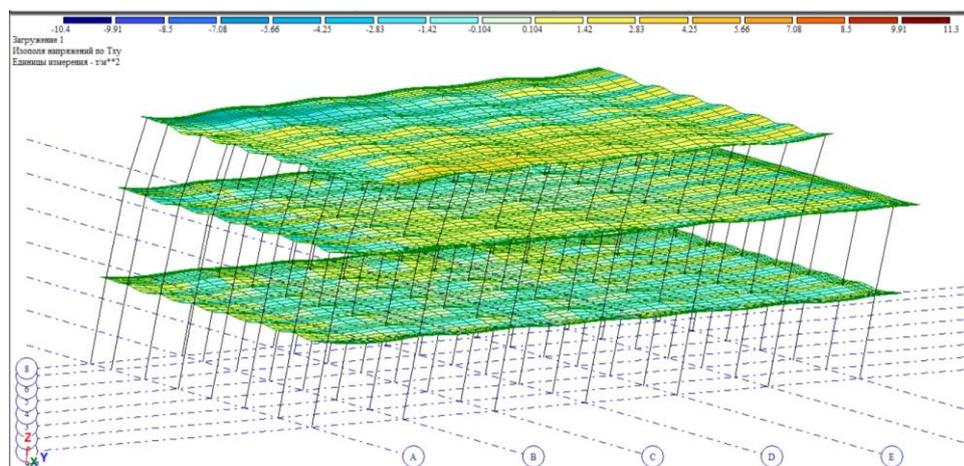


Рис. 5.12. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання сценарію перевірки імовірності виникнення снігових мішків

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.6

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.0149	1	1.079468	1.013423	1.055453

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Порушення норм будівництва, відхилення від проекту

Перевірка роботи каркасу із заміною в статично невизначеній системі видів в'язей (здебільшого перекриття) (Рис. 5.13).

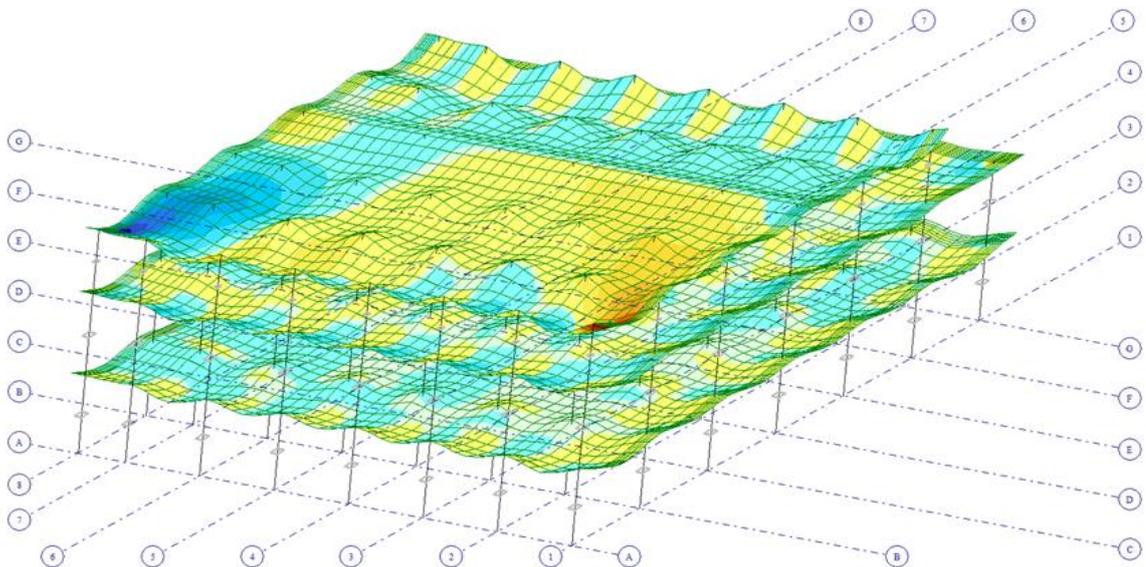


Рис. 5.13. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання порушення норм будівництва, відхилення від проекту

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.7

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.8276	1.145074	1.592554	1.632495	1.626129

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

5.2.1.2. Етап експлуатації (рівень значущості 1)

Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові вібраційні навантаження у вузлах верхніх прольотів каркасу)

Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горіщного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (складування будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати навантаження на перекриття тимчасові вібраційні у вигляді зосереджених зусиль F , що розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття (Рис. 5.14).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

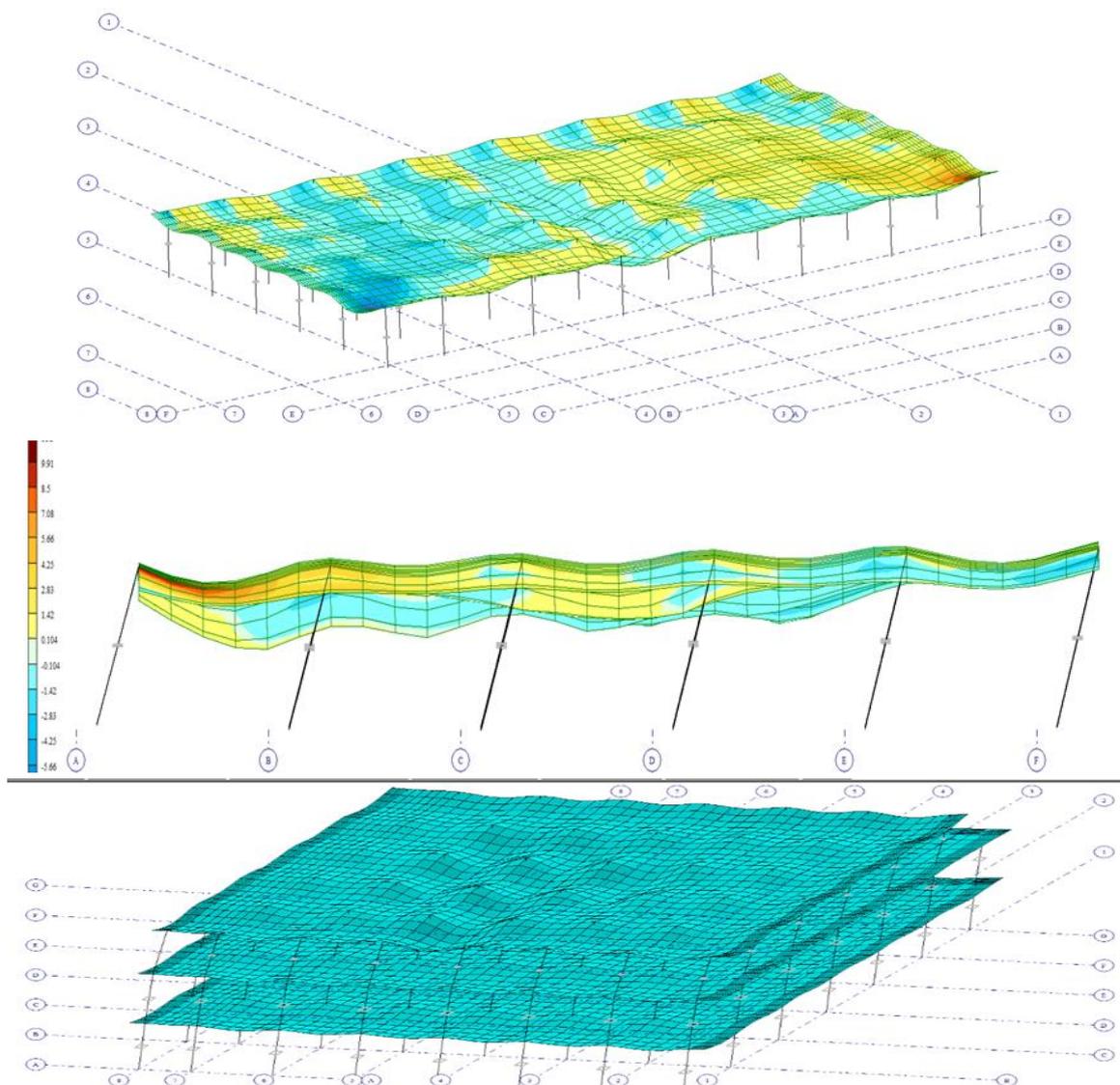


Рис. 5.14. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання руйнування несучих конструкції внаслідок неправильної експлуатації

Таблиця 5.8

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1	1.4	1.12514	1.501449	1.097226

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Імовірнісне виникнення вибуху

Перевірка загальної стійкості каркасу будівельного об'єкту у разі виникнення раптового вибуху (наприклад, збереження вибухонебезпечних матеріалів, терористичний акт) (Рис. 5.15).

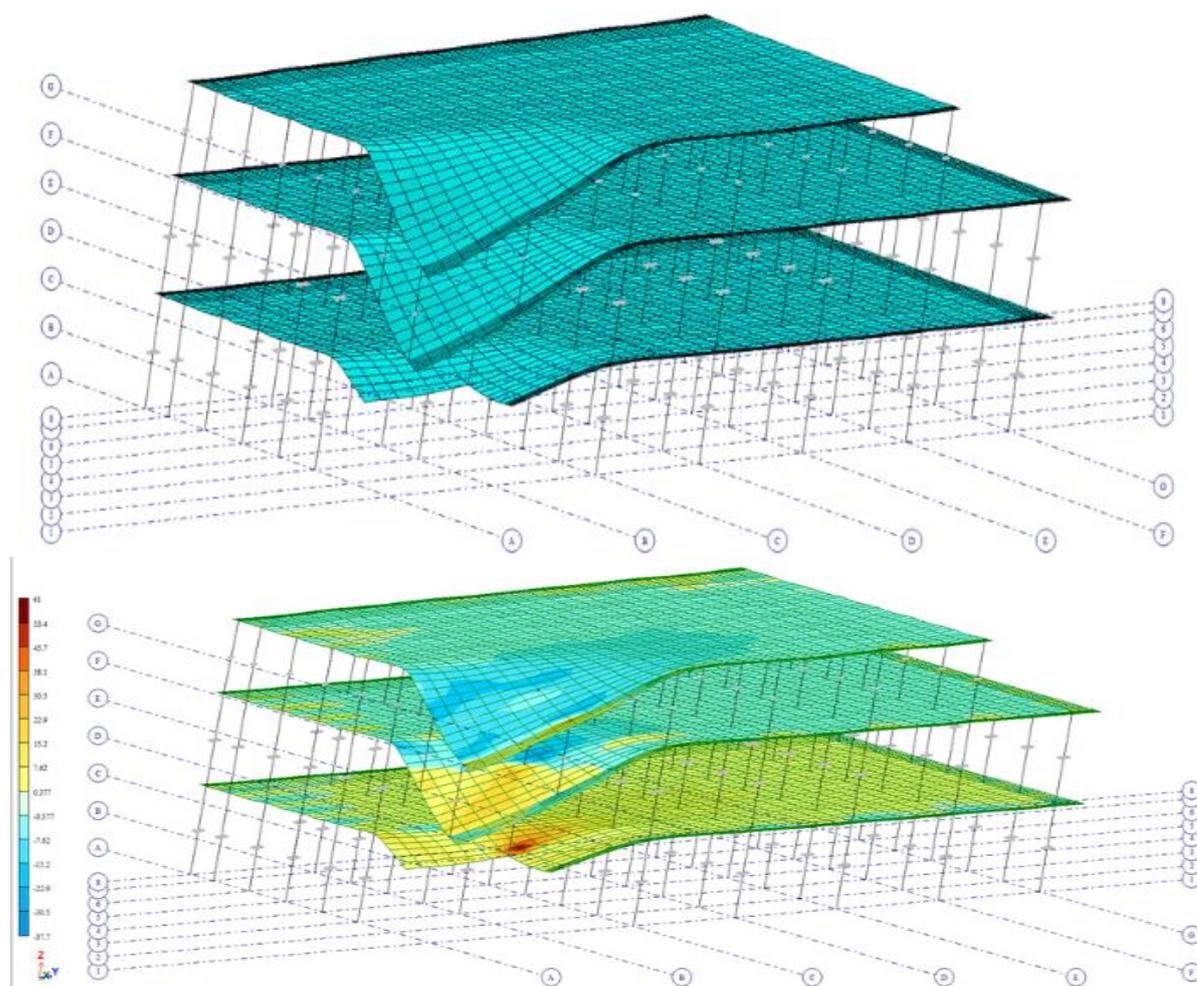


Рис. 5.15. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання у разі виникнення раптового вибуху

У ході моделювання сценарію аварії конструкція втрачає несучу здатність.

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1,623926	1,411967	1,905962	11,01571	7,391516

DCR перевищує норму для згинальних моментів в елементі 45 (колона) та поперечних зусиллях в елементі 2327 (колона).

Загальна площа руйнування: $13 \times 12 = 156 \text{ м}^2$

Лавиноподібне руйнування відсутнє, але наявне локальне руйнування елементів каркасу.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Несвоєчасний ремонт та некоректна реконструкція

Перевірка можливості конструкцій перекриття протистояти надмірним раптовим навантаженням внаслідок руйнування верхніх поверхів будівлі. Моделювання руйнування верхнього поверху із вилученням із роботи каркасу конструкції перекриття П1, завантаження попереднього прольоту П2 додатковими тимчасовими навантаженнями, що дорівнюють навантаженням від вилученого перекриття Q1 (Рис. 5.16).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.10

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.106106	1.555614	1.145194	2.924973	3.176093

DCR перевищує норму для згинальних моментів в елементі 43 (колона), та поперечних зусиллях в елементі 2372 (колона).

Загальна площа руйнування: $6 \times 6 = 36 \text{ м}^2$

Лавиноподібне руйнування відсутнє, але наявне локальне руйнування елементів каркасу.

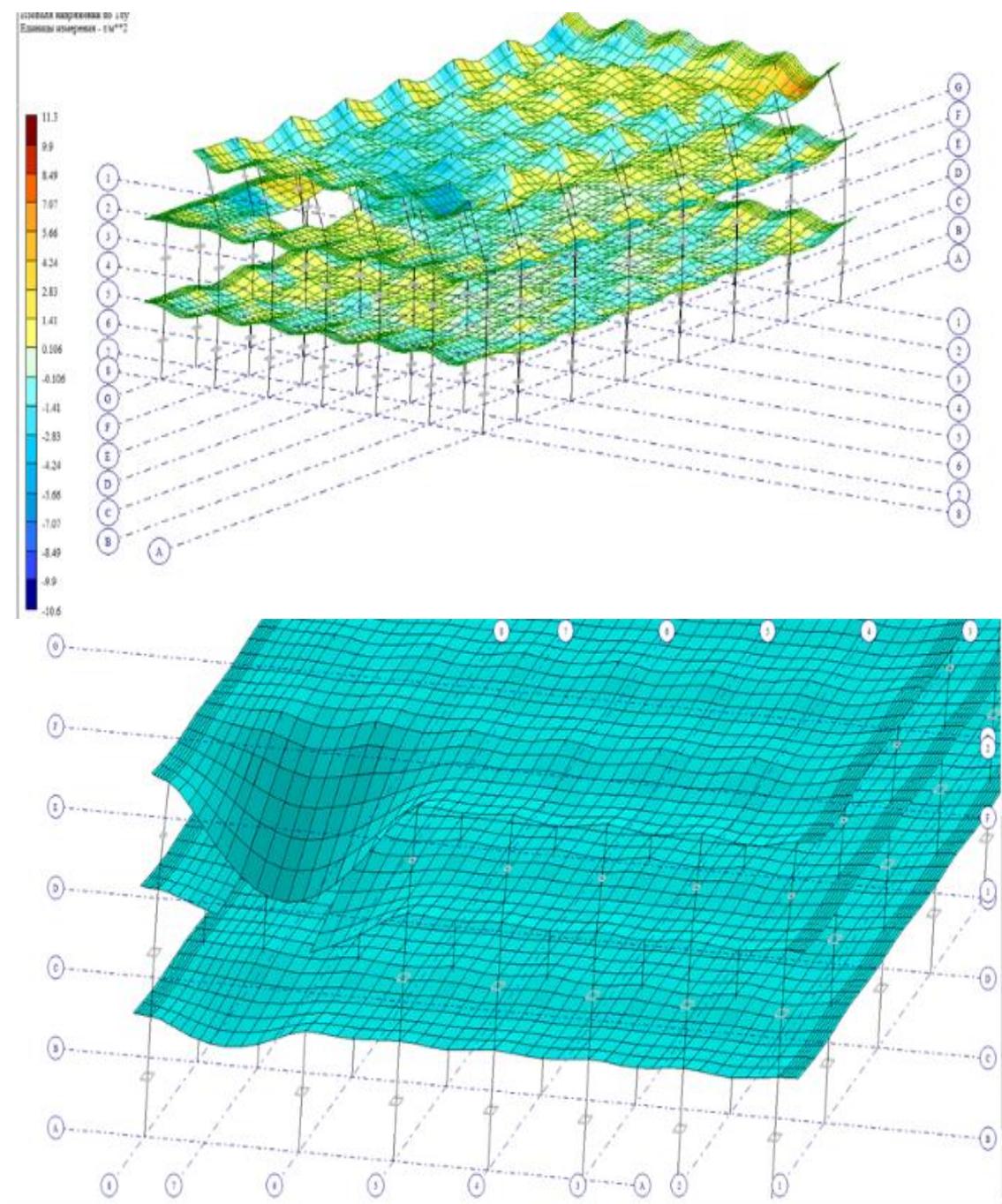


Рис. 5.16. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання сценарію аварії внаслідок руйнування верхніх поверхів будівлі

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі схильна до прогресуючого руйнування.

Несвоєчасний, або неправильний демонтаж конструкцій каркасу

Надати можливі варіанти демонтажу споруди у разі виникнення такої необхідності. Зазначити особливі моменти роботи окремих конструкцій.

З роботи виключено колону першого поверху (Рис. 5.17).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.11

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
2.063183	1.046271	3.425631	11.99077	2.762146

DCR перевищує норму для переміщення в елементі 2333 (колона), для згинальних моментів в елементі 20 (колона), повздовжніх зусиллях в елементі 2333 (колона) та поперечних зусиллях в елементі 20 (колона).

Загальна площа руйнування: $18 \times 12 = 216 \text{ м}^2$

Наявне локальне руйнування елементів каркасу.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі схильна до прогресуючого руйнування.

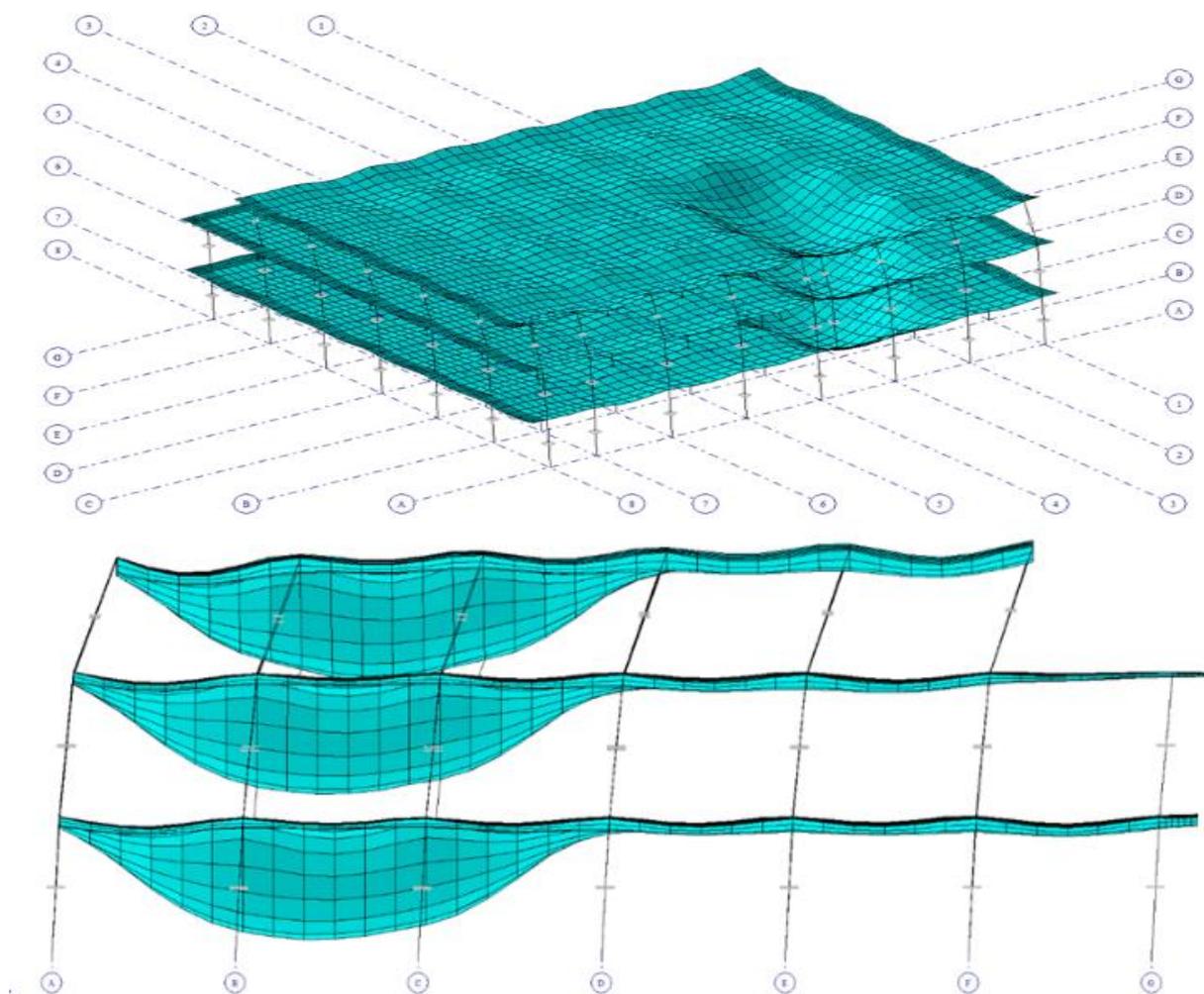


Рис. 5.17. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання виключення колони першого поверху

5.2.2. Виконання алгоритму за рівнем значущості 2

За необхідності, у разі виявлення значних руйнування у процесі моделювання та можливості виникнення прогресуючого обвалення будівлі, варто провести розрахунку за другим та третім рівнем значущості моделювання можливих сценаріїв аварій. Блок схема етапів проведення моделювання для рівня 2 промислової будівлі представлена на Рис. 5.18.



Рис. 5.18. Алгоритм моделювання 2 рівня значущості можливого виникнення аварій промислової будівлі

Таким чином до розгляду пропонується ще три сценарії можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті даного типу.

5.2.2.1. Етап будівництва та введення в експлуатацію

Розрахункові помилки (несучі конструкції каркасу)

Перевірка роботи несучих та огорожуючих конструкцій, або інших конструкцій каркасу. Моделювання розрахункових вертикальних навантажень на несучі конструкції каркасу (Рис. 5.19).

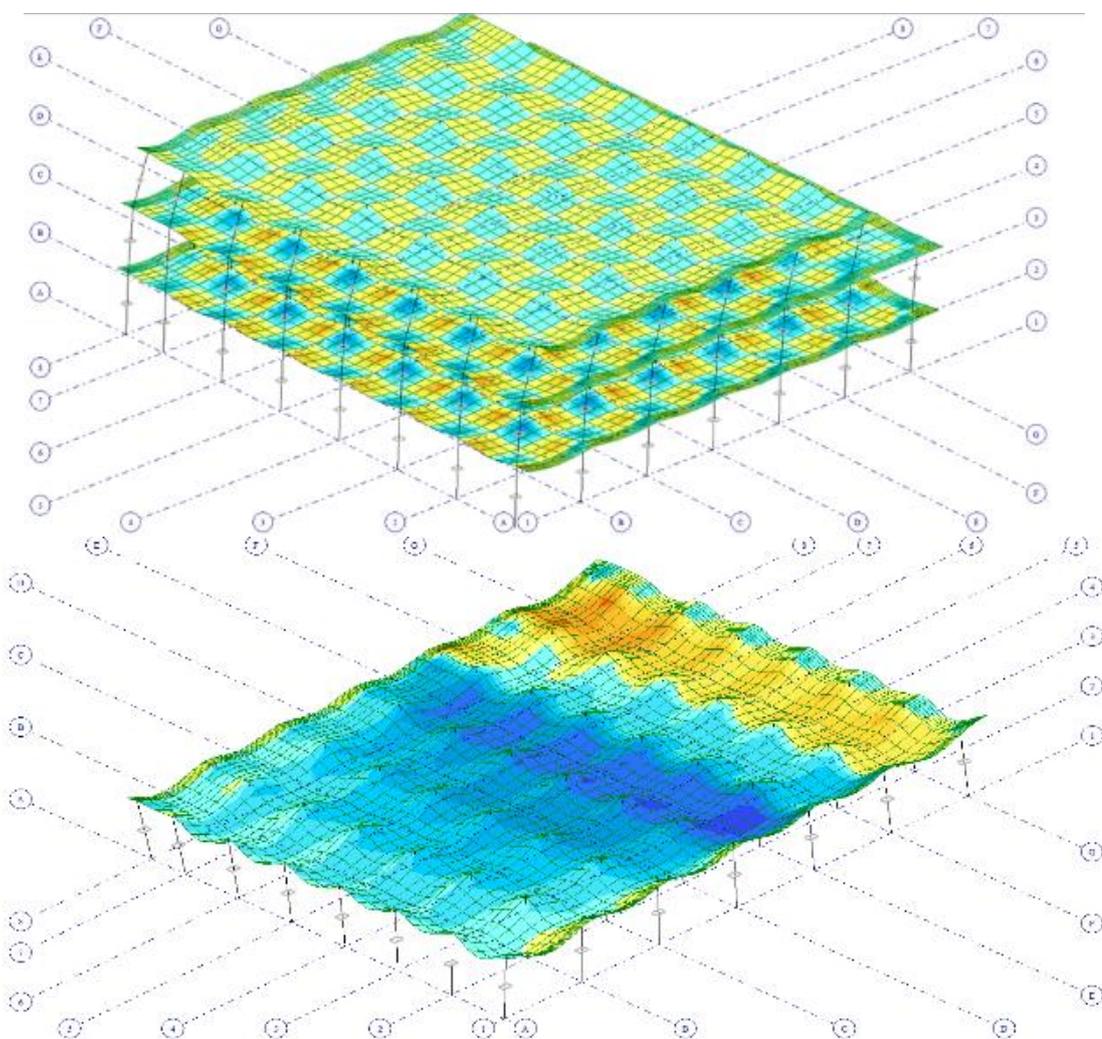


Рис. 5.19. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання розрахункових вертикальних навантажень на несучі конструкції каркасу

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.12

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.013	1.009943	1.12514	1.501449	1.097226

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Використання невідповідного матеріалу (рівень значущості 2)

Перевірка роботи конструкцій у разі можливого використання матеріалу низької якості, або його економії шляхом зміни жорсткості матеріалу у заданих значеннях при проектуванні каркасу. Аналіз деформованої моделі у результаті змін.

Зміна жорсткості одного несучого елемента каркасу, де $E_1=0,7E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції (Рис. 5.20).

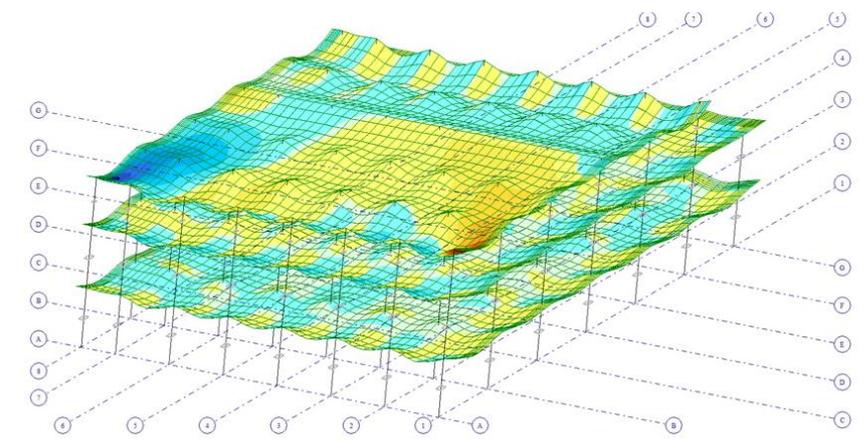


Рис. 5.20. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання зміни жорсткості одного несучого елемента

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.13

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.3861	1.434428	1.004844	1.148571	1.283927

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Зміна жорсткості декількох несучих елементів каркасу на одній ділянці будівельного об'єкту, де $E_1=0,8E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції (Рис. 5.21).

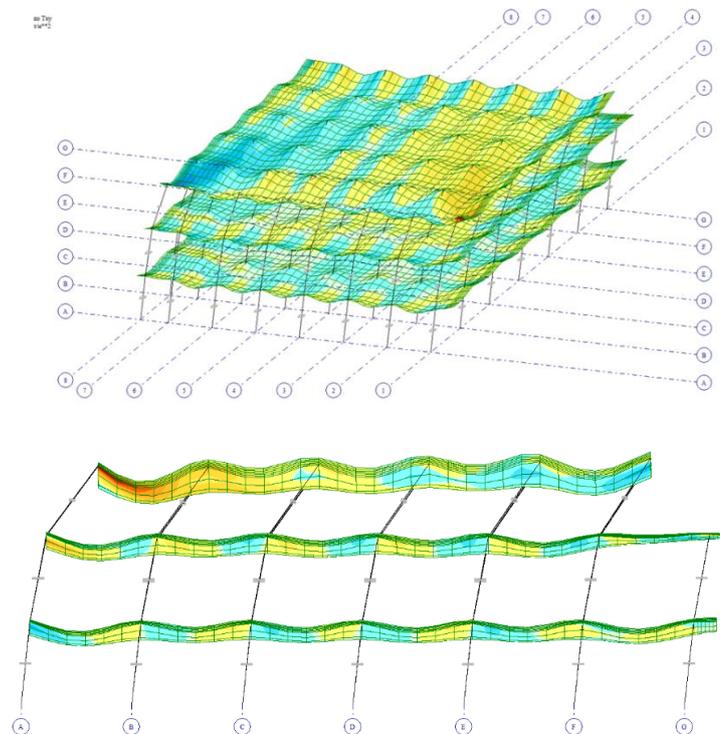


Рис. 5.21. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання зміна жорсткості декількох несучих елементів

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.14

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.250002	1.250001	1	1	1.000005

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

Загальна зміна жорсткості усієї конструктивної схеми, де $E_1=0,9E_0$, де E_0 – початкова жорсткість матеріалу конструкції (Рис. 5.22).

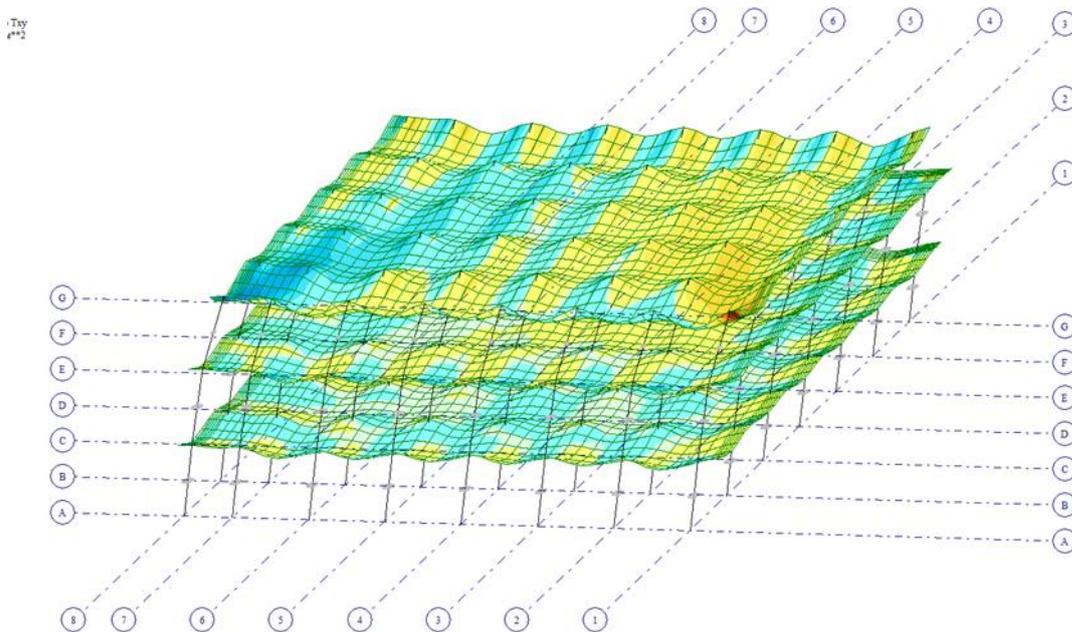


Рис. 5.22. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання сценарію аварії при загальній зміні жорсткості усієї конструктивної схеми

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

Таблиця 5.15

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.111113	1.111112	1	1	1.000005

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

5.2.2.2. Етап експлуатації (рівень значущості 2)

Руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації (понаднормові навантаження на конструкції перекриття верхніх прольотів)

Перевірка роботи каркасу за допомогою отримання деформованої моделі. Моделювання понаднормових навантажень на конструкції горіщного перекриття, або (при його відсутності) на конструкції покриття (дах) (складування будівельних матеріалів, наприклад – цегли, у значній кількості). Задати навантаження на перекриття довготривалі у двох варіантах: рівнорозподілені із значенням $q_1=1,5q_0$ та зосереджені зусилля F (розташовані по вузлам каркасу та на середині прольоту кожного перекриття) (Рис. 5.23).

У ході моделювання сценарію аварії конструкція продовжує роботу у пружній стадії та не втрачає несучу здатність.

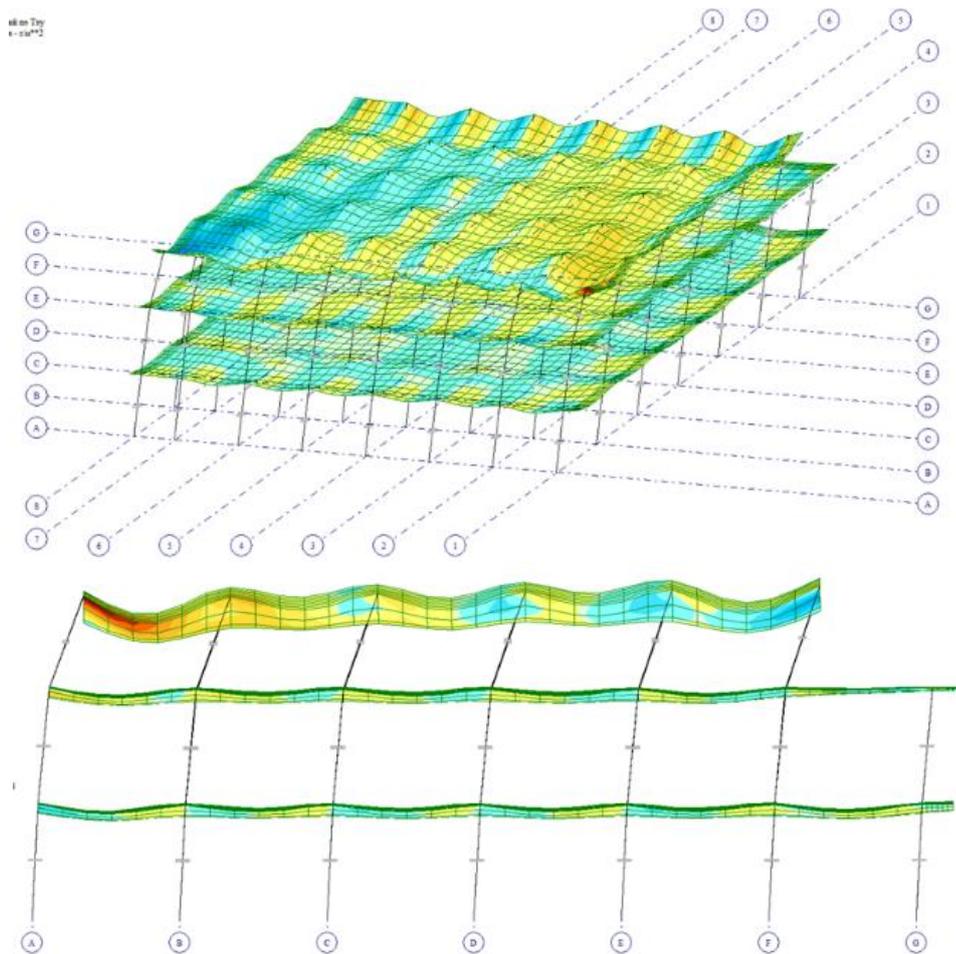


Рис. 5.23. Напружено-деформований стан моделі каркасу промислової будівлі у результаті моделювання руйнування несучих конструкцій внаслідок неправильної експлуатації

Таблиця 5.16

Demand Capacity Ratio (DCR) для даного сценарію руйнування

DCR (X)	DCR (Y)	DCR (N)	DCR (M)	DCR (Q)
1.1417	1.0123	1.0453	1.264	1.7971

DCR не перевищує норму.

Загальна площа руйнування: відсутня.

Лавиноподібне руйнування відсутнє.

Загальний висновок: За даним сценарієм конструкція каркасу будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.

5.2.3. Загальна динаміка показників Demand Capacity Ratio (DCR)

Динаміка значення Demand Capacity Ratio (DCR) в залежності від сценарію моделювання аварії відображена на графіках для першого рівня значущості (Рис. 5.24) та для другого (Рис. 5.25) в залежності від обраних параметрів порівняння (Рис. 5.26).

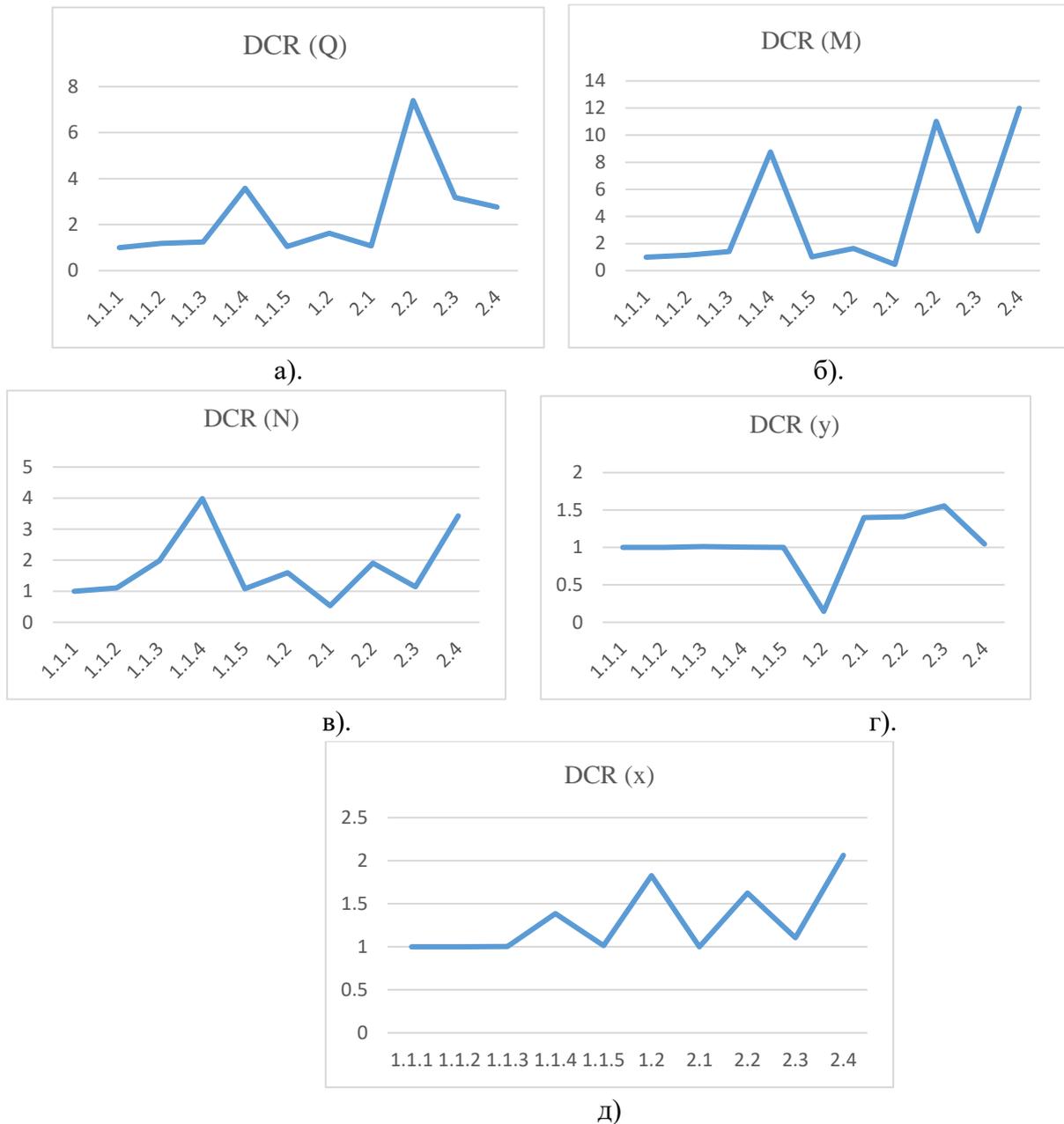
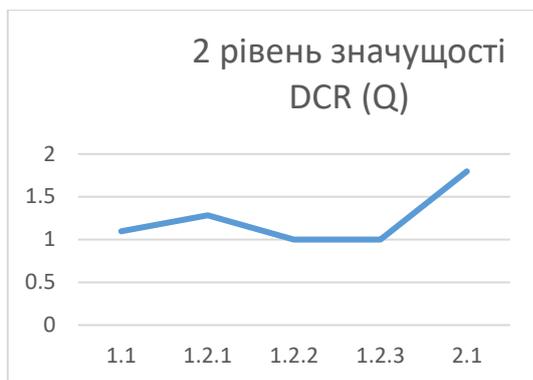
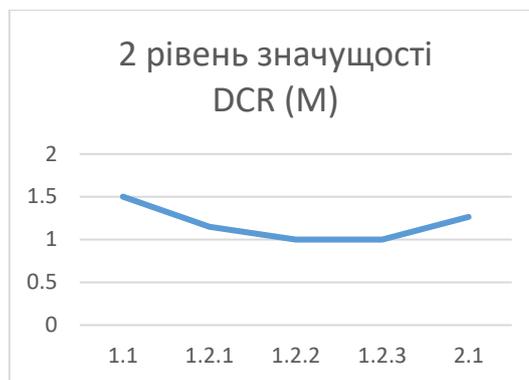


Рис. 5.24. Порівняльні графіки динаміки значень співвідношення порівняльних параметрів DCR для першого рівня значущості виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії запроєктованої будівлі



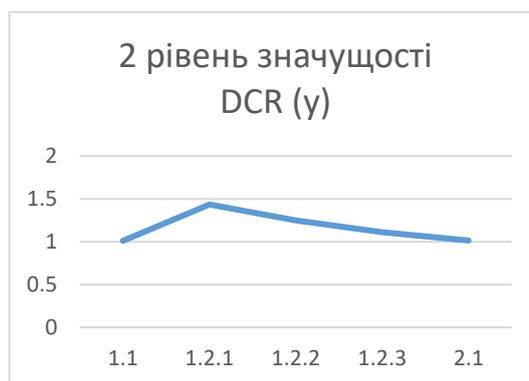
а).



б).



в).



г).



д)

Рис. 5.25. Порівняльні графіки динаміки значень співвідношення порівняльних параметрів DCR для другого рівня значущості виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії запроектованої будівлі

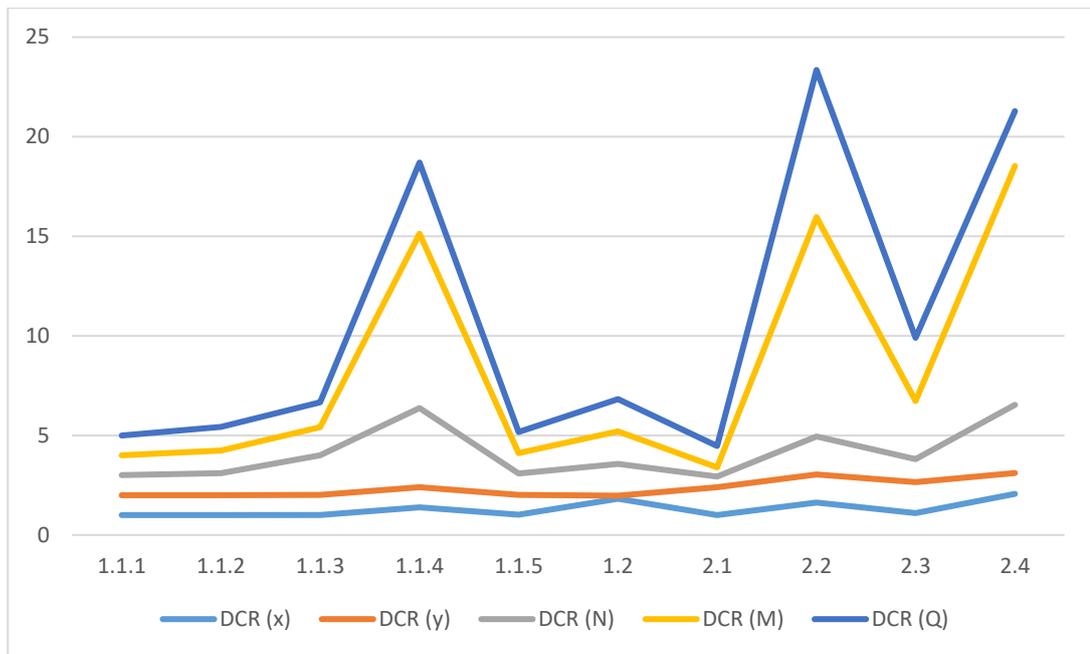


Рис. 5.26. Порівняльний графік для значень параметрів DCR для першого рівня значущості виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії запроектованої будівлі

Із діаграм видно, що найбільш небезпечні сценарії аварій, які вказують на можливість виникнення значних руйнувань, для основного етапу моделювання (перший рівень значущості) відносяться сценарії:

- імовірного виникнення вибуху, коли при вилученні з роботи несучих вертикальних конструкцій (колони) відбувається втрата несучої здатності для двох сусідніх колон (елементи 45 та 2327) із площею руйнування 156 м^2 ;
- несвоєчасний, або неправильний демонтаж конструкцій каркасу призводить до появи значних переміщень у системі та виникненні максимальних понаднормових зусиль у колонах (елементи 2333 та 20);
- виключення елемента перекриття, що призводить до руйнувань із площею 90 м^2 , та втрати несучої здатності для двох елементів (2333 та 2335, колони).

Другий рівень значущості із піковими значеннями DCR в залежності від типу змодельованого сценарію для різних максимальних показників зусиль в елементах каркасу представлений на Рис. 5.27.

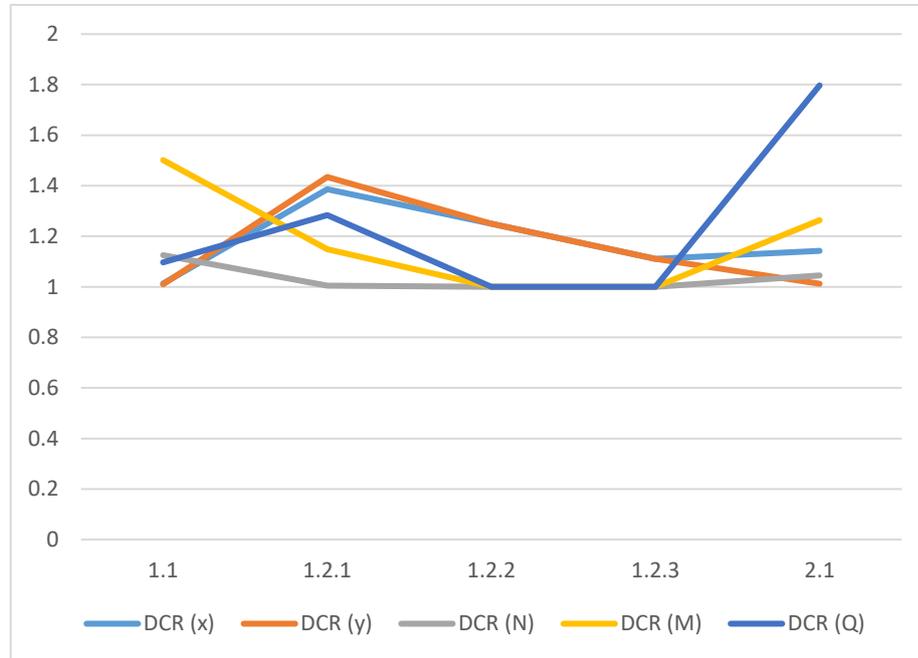


Рис. 5.27. Порівняльний графік для значень параметрів DCR для другого рівня значущості виконання алгоритму моделювання можливого виникнення аварії запроектованої будівлі

Таким чином із графіку видно, що при виконанні аналізу другого рівня значущості, імовірність виникнення руйнувань незначна, показники DCR не перевищують норму і в конструкції каркасу відсутня небезпека виникнення прогресуючого руйнування.

5.3. Розрахунок на економічні втрати промислової багатопролітної будівлі

Можливі економічні збитки підраховуються, виходячи із сценарію аварії, або іншими словами – прогнозу аварії. Цей прогноз передбачає руйнування однієї із середніх колон першого поверху промислового цеху

проектованої будівлі під впливом надмірних навантажень (надмірні динамічні навантаження від роботи великогабаритного обладнання на верхніх поверхах будівлі, значні довготривалі та короткотривалі навантаження на перекриття між другим та першим поверхом, аварійний стан колони при її некоректній експлуатації, або значного віку конструкції; а також включається можливість використання неякісних матеріалів при виготовленні та зведенні конструкції).

Внаслідок аварії може відбутися пошкодження технологічного обладнання і зупинка роботи цеху на термін $T_{зуп} = 30$ діб. Після виконання необхідних ремонтних робіт функціонування цеху відновляється в повному обсязі.

Збитки від руйнування та пошкодження основних фондів виробничого призначення розраховується за формулою:

$$\Phi = ac \sum_i^n P_i \left(1 - \frac{1}{2} T_{ef} \times K_{a,i} \right) \quad (5.2)$$

де $a = 0,5$ коефіцієнт, що враховує прогноз відмови, згідно з яким може зруйнуватися один температурний блок половина будівлі;

$c = 0,45$ коефіцієнт, що враховує відносну долю основних фондів, що повністю втрачаються при відмові;

$P_i = 100$ млн. грн. кошторисна вартість проекту-аналога;

$T_{ef} = 60$ років встановлений термін експлуатації для виробничих будівель;

$K_{a,i} = 0,01$ коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$n = 1$ кількість основних фондів.

Таким чином

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 \cdot 0,45 \cdot 100000 \cdot (1 - 0,5 \cdot 60 \cdot 0,01) = 15750 \text{ тис. грн.} = \\ &= \frac{15750}{6,5} = 2423,08 \text{ м. р. з. п.} \end{aligned}$$

Мінімальний розмір заробітної плати уточнений на момент виконання розрахунку відповідно до Закону України «Про Державний бюджет України». Мінімальний розмір заробітної плати (м.р.з.п.) на час виконання розрахунку становив 6500 грн.

Цех випускає щодоби продукцію, що оцінюється за середньо оптовими цінами в розмірі $C=7$ млн. грн. Отже, збитки від втрат готової продукції в результаті зупинки цеху визначаються як:

$$P_p = C \cdot T_{зуп} = 7 \cdot 30 = 210 \text{ тис. грн.} = \frac{210000}{6,5} = 32307,69 \text{ м. р. з. п.}$$

Загальні збитки від відмови споруди визначаються як:

$$M_p = \Phi + P_p = 2423,08 + 32307,69 = 34730,78 \text{ м. р. з. п.}$$

Враховуючи розміри економічних збитків будівля цеху відноситься до класу наслідків СС2, що також відповідає аналогічному рівню значущості будівлі при створенні послідовності проведення алгоритму моделювання сценаріїв аварій [76].

5.4. Розрахунок на неекономічні втрати промислової будівлі

Розглядаючи вірогідність відмови несучої конструкції одного із цехів, а саме – несучої колони К1, – із неекономічної точки зору, враховуються різноманітні соціальні фактори. Таким чином розрахунок проводиться за формулою (3.3) [97]:

$$Q = \frac{10^{-4} \zeta_s T}{L}, \quad (5.3)$$

де $\zeta_s=0,05$ коефіцієнт соціальної значимості для промислових будівель;

$T = 60$ років розрахунковий термін служби споруди в роках;

$L = N1 + N2 + N3 = 100 + 50 + 150 = 300$ осіб середнє число людей, що знаходяться всередині споруди або в безпосередній близькості до неї протягом тривалого періоду, за який оцінюється ризик.

Таким чином

$$Q = \frac{10^{-4} \xi_s T}{L} = \frac{10^{-4} \cdot 0,05 \cdot 60}{300} = 0,01 \cdot 10^{-4}$$

Облік неекономічної відповідальності проводиться в порівняльній формі, для виведення залежності якої вводяться наступні позначення:

$F_n = 5112$ м² площа приміщення;

$F_k = 144$ м² площа ураження при відмові конструкції;

$F_{min} = 0,2$ м²/люд мінімальний розмір нормованої площі, яка приходить на одну людину;

$M = 20$ осіб кількість людей, які знаходяться в приміщенні 24 год на добу.

Імовірність події, що в момент відмови конструкції на площі ураження буде знаходитися одна людина, буде дорівнювати:

$$B = \frac{24}{24} Q = 0,01 \cdot 10^{-4} \quad (5.4)$$

Середні систематичні неекономічні втрати від відмови конструкції визначаються за формулою:

$$\bar{P}_{\text{сист}} = M \cdot \frac{F_k}{F_n} \cdot B = \bar{N} \cdot Q, \quad (5.5)$$

$$\bar{P}_{\text{сист}} = 20 \cdot \frac{144}{5112} \cdot 0,01 \cdot 10^{-4} = 0,056 \cdot 10^{-4};$$

$$\bar{N} = \frac{\bar{P}_{сум}}{Q} = \frac{0.056 \cdot 10^{-4}}{0.01 \cdot 10^{-4}} = 0.56 \approx 1 \text{ осіб} \quad \text{середньо ймовірнісна кількість}$$

осіб на площі ураження.

На ураженій площі крім \bar{N} осіб можуть випадково та тимчасово знаходитися L чоловік. Їх кількість визначається за допомогою величини F_{\min} таким чином:

$$L = \frac{F_k}{F_{\min}} - \bar{N} = \frac{144}{0,2} - 1 = 719 \text{ осіб.}$$

Кількість людей, що випадково знаходяться на площі ураження при відмові конструкції, не може бути більшою ніж $M - \bar{N}$. Тому:

$$L = 20 - 1 = 19 \text{ осіб}$$

Середньо ймовірнісне значення випадкових втрат можна виразити, використавши теорему про повторення дослідів:

$$\bar{P}_{сл} = Q \cdot \sum_{i=1}^L i \cdot p_i = Q \cdot L \quad (5.6)$$

де i кількість випадково потрапивши на площу ураження людей;

$p_i = C_L^i \cdot p^i \cdot (1 - p)^{L-i}$ ймовірність потрапляння на ту ж площу i людей;

$C_L^i = \frac{L(L-1)(L-2)\dots(L-i+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \dots i}$ кількість поєднань з L по i ;

$p = \frac{t_1}{24}$ ймовірність випадкового попадання людини на уражену площу

за часом.

$$\bar{P}_{сл} = Q \cdot L = 0,01 \cdot 10^{-4} \cdot 19 = 0,19 \cdot 10^{-4}$$

Повні середньо ймовірнісні неекономічні втрати отримуються в результаті суми:

$$\bar{P} = \bar{P}_{сист} + \bar{P}_{сл} = (\bar{N} + \bar{L}) \cdot Q = 0,019 \cdot 10^{-4} + 0,19 \cdot 10^{-4} = 0,196 \cdot 10^{-4}$$

Результатом проведених розрахунків є визначення економічних та неекономічних наслідків можливого сценарію відмови колони К1 промислової будівлі. Імовірність неекономічних втрат в результаті проведеного розрахунку можна вважати незначною.

5.5. Рекомендації щодо підсилення найбільш небезпечного несучого елемента каркаса

Ведучи мову про найбільш небезпечний елемент каркасу слід чітко визначитися про який тип аварійної ситуації іде мова. Якщо першочерговою задачею підсилення каркасу споруди стоїть запобігання найбільш вірогідної аварійної ситуації, то мова йтиме про менш відповідальні елементи об'єкту, які відносяться до категорії В.

Таким чином, виходячи із опрацьованого матеріалу з аварій в будівництві, та визначення найбільш повторюваних інцидентів, слід приділити більшу увагу даху будівлі, та при зведенні посилити норми контролю під час проведення робіт із влаштування покриття.

Розглядаючи конструкції, які відносяться до категорій Б і А, слід чітко виокремити проблему використання неякісних матеріалів в будівництві. Здебільшого, враховуючи територіальні та географічні особливості місця зведення, рекомендується проектувальникам окремо врахувати додатковими коефіцієнтами запасу можливість некоректної експлуатації будівлі.

В рішенні даної задачі моделювалася найбільш масштабне руйнування будівлі в результаті руйнування несучої колони К1 на першому поверсі об'єкта. Дана аварія відноситься до вірогідного типу (пошкодження несучих конструкцій), або (в залежності від сценарію аварії) - випадкової, але при цьому має незначний відсоток виникнення. Ведучи мову про такий тип аварій, слід чітко розуміти в якому разі вона може виникнути. Розглянемо

більш детально дане питання.

Вірогідне руйнування колони К1 заводу:

- в результаті некоректної експлуатації конструкції, створення край тяжких умов середовища об'єкта;
- в результаті несвоєчасної реконструкції колони;
- по причині неякісного проведення ремонтних робіт;
- в результаті невідповідності реальних умов експлуатації та заданих навантажень на конструкцію умовам проекту.

- Випадкове руйнування колони К1 заводу:

- вибух вибухонебезпечних речовин, при умові потрапляння колони в площу ураження;
- пожежа на об'єкті, яка відноситься до вищої категорії небезпеки.

Розглянувши низку можливий аварійних ситуацій та після проведення розрахунків економічних та неекономічних втрат під час моделювання даної аварійної ситуації, можна привести наступні пропозиції щодо підсилення надійності конструкції, що розглядається:

- виключити можливість знаходження вибухонебезпечних матеріалів (непередбачених технологічним процесом в даному цехові);
- проводити регулярні обстеження конструкції протягом усього терміну експлуатації;
- своєчасне підсилення конструкції, при виникненні такої необхідності;
- коректна експлуатація будівлі (здебільшого це відноситься до можливості встановлення на інших поверхах більш важкої техніки та обладнання, що непередбачені проектом);
- при необхідності встановлення на інших поверхах цеху важкого устаткування непередбаченого проектом будівлі, неодмінно звернутися до спеціалістів із метою влаштування підсилення вже існуючого каркасу будівлі.

Крім того, акцентуючи увагу на останньому пункті, слід відзначити

необхідність введення до державних норм подібних зобов'язань власника, та при необхідності, прийняття закону про штрафні санкції щодо недодержання цих норм.

Проведений перший досвід практичного застосування алгоритму показав його перспективність та можливість використання як інструменту забезпечення надійності та безаварійності будівель та споруд.

5.6. Висновки по розділу

У ході реалізації створеного алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, а саме, промислової будівлі, було виконано 9 сценаріїв руйнування конструкцій із різних причин.

Шість сценаріїв аварій змодельовано для першого рівня значущості для промислової будівлі, а саме:

- можливе виникнення аварії на етапі будівництва та введення в експлуатацію (2 сценарія): перевірка на розрахункові помилки (конструкції покриття) та дослідження роботи каркаса в умовах можливого порушення норм будівництва та відрогідності відхилення від проекту;

- можливе виникнення аварії на етапі експлуатації (4 сценарія): моделювання руйнування несучих конструкцій каркасу у умовах понаднормових вібраційних навантажень на конструкції перекриття, моделювання імовірності виникнення вибуху в будівлі, не проведення своєчасного ремонту (або виконання некоректної реконструкції) та сценарій проведення неправильного демонтажа конструкцій каркасу.

Три сценарія аварій змодельовано для другого рівня значущості для промислової будівлі, а саме:

- можливе виникнення аварії на етапі будівництва та введення в експлуатацію (2 сценарія): перевірка на розрахункові помилки (несучі конструкції каркасу) та використання невідповідного матеріалу.

- можливе виникнення аварії на етапі експлуатації (1 сценарій): руйнування несучих конструкцій каркасу у умовах понаднормових навантажень на конструкції перекриття верхніх прольотів.

Проведений розрахунок на економічні та неекономічні наслідки, що у свою чергу дало змогу встановити рівень відповідальності будівлі та можливі збитки у результаті можливого виникнення руйнування.

У результаті реалізації алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, а саме промисловій будівлі, встановлено наступне:

- при моделюванні сценаріїв аварій для всіх рівнів значущості не виникало лавиноподібне руйнування конструкцій каркасу, що свідчить про не схильність розглянутої будівлі до прогресуючого руйнування;

- руйнування в ході проведення моделювання виникали локальні, із максимальною площею руйнування 156 м²;

- найбільш небезпечні для даної будівлі сценарії: імовірнісне виникнення вибуху, несвоєчасний або не правильний демонтаж та вилучення із роботи ключового елемента перекриття;

- за вище наведеними найбільш небезпечними сценаріями аварій доцільно рекомендувати жорстке дотримання термінів перевірок експлуатаційного технічного стану будівлі згідно державних норм та при необхідності розробки проекту демонтажу або реконструкції будівлі із закінченням експлуатаційного терміну.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Відповідно поставленим задачам дослідження було створено статистику аварій будівель та споруд за 2000-2022 рр. за типом аварії, моментом роботи конструкції на час руйнування та причинами їх виникнення.
2. Запропоновано класифікацію аварії за імовірністю їх виникнення (вірогідна, неможлива або випадкова), яка дає змогу розмежувати можливість події.
3. Проаналізовані та застосовані методи розрахунку економічних та неекономічних наслідків, розроблено алгоритм процесу розрахунків економічних та неекономічних наслідків, який реалізовано в комп'ютерній програмі.
4. Проведено аналіз аварій будівель та споруд, на підставі зібраної статистики та візуалізовано результати за допомогою мап та діаграм.
Найвищий відсоток виникнення аварій:
 - 54% аварій припадає на етап будівництва та введення в експлуатацію;
 - 55% для житлових багатоповерхових будівель;
 - 50% недотримання норм при будівництві
5. На базі проведеного аналізу можна стверджувати що проведення моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті необхідна у першу чергу для житлових багатоповерхових будівель та будівель громадського призначення та в основних етапах моделювання повинні бути розроблені сценарії руйнування каркасу за причинами можливих помилок будівельників R1 (враховуючи підкласи R1.1-R1.4) на етапах будівництва та експлуатації.
6. На основі зібраного та опрацьованого статистичного матеріалу створено алгоритм проведення моделювання можливого виникнення аварії будівлі або споруди на етапі проектування, із метою усунення

можливості утворення прогресуючого руйнування будівельного об'єкта, який включає тип аварії, вид моделювання та мета перевірки, рівень значущості виконання алгоритму за типом будівлі, який забезпечує здатність конструкції витримувати понаднормові навантаження і не призводити до ланцюга поетапного виходу із ладу несучих елементів каркасу, що в свою чергу може призвести до обвалення будівлі або споруди.

7. Реалізовано створений алгоритм моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, для якого було виконано 9 сценаріїв руйнування конструкцій із різних причин, для рішення задачі було створено розрахункову схему будівлі що проектується та розроблено її об'ємну модель.

Практичне використання алгоритму показало його перспективність та можливість використання як інструменту забезпечення надійності та безаварійності будівель та споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. «Between 2001 & 2015, an average of 7 people died per day in Collapse of Structures»/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://factly.in/>
2. 8-Story Building / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://db.concretcoalition.org/building/124>.
3. A walkway at the Hyatt Regency in Kansas City collapsed in 1981, killing 114 people / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.businessinsider.com/biggest-structural-failures-disasters-history-2019-11?r=US&IR=T#a-walkway-at-the-hyatt-regency-in-kansas-city-collapsed-in-1981-killing-114-people-2>.
4. All 10,344 window panes of the John Hancock Tower needed to be replaced because of poor glass integrity / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.businessinsider.com/biggest-structural-failures-disasters-history-2019-11?r=US&IR=T#all-10344-window-panes-of-the-john-hancock-tower-needed-to-be-replaced-because-of-poor-glass-integrity-3>.
5. Building code requirements for structural concrete (aci 318-02) and commentary (aci 318r-02) / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://hoseinzadeh.net/ACI-318-02.pdf>.
6. Burj Khalifa/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa.
7. De-Cheng Feng, Hai-Rong Shi, Fulvio Parisi, Emanuele Brunesi, Chun-Lin Wang, Efficient numerical model for progressive collapse analysis of prestressed concrete frame structures, Engineering Failure Analysis, 10.1016/j.engfailanal.2021.105683, 129, (105683), (2021).
8. Dirección General de Protección Civil (DGPC) ¿Qué Hacemos?/ Riesgos: Prevención y Planificación/ Tecnológicos/ Químicos/Distribución. [(accessed on 17 January 2017)]; Available online: www.proteccioncivil.es/riesgos/quimicos/distribucion. (In Spanish)
9. Dmytrenko T. The information system development for managing the

building structures department / Т. Dmytrenko, Т. Derkach, А. Dmytrenko, L. Klochko// Системи управління, навігації та зв'язку. – 2021. – № 1 (63). – С. 84-89. – doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.084. (фаховий) Категорія Б

10. Dmytrenko Т., Derkach Т., Dmytrenko А., Klochko L. (2021). Technological features of video content creation and editing for students specialty «Construction and civil engineering». Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2(57), 80-85

11. Dmytrenko Т.А. The scientific and technical activity module development for the department of structures from metal, wood and plastics / Т.А. Dmytrenko. Т.М. Derkach, А.О. Dmytrenko, L.А. Klochko // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.Серія: Галузеве машинобудування, будівництво.–Полтава: ПолтНТУ, 2019. – Випуск 1 (52). – С. 197 – 204. doi:https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1698. (фаховий) Категорія Б

12. Dmytrenko Т.А., Dmytrenko А.О., Derkach Т.М., Klochko L.А. (2020) Scientific and Technical Activities Management Automation of the Department of Structures from Metal, Wood, and Plastics. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_36 С. 63-66.

13. Ellingwood B.R., Acceptable rick bases for design of Structures, Progress in Struct. Engrg.and Mat. 2001, 3(2), 170-179., ТКП 45-3.02-108-2008. <https://doi.org/10.1002/pse.78>

14. Ellingwood BR., Smilowitz R., Dusenberry DO., Duthinh D., Lew HS., Carino NJ., Best practices for reducing the potential for progressive collapse in buildings. NISTIR 7396. National Institute of Science and Technology, US Department of Commerce; 2007.

15. European Union Directive 82/501/CEE of the Council of 24 June 1982 on the major accident hazards of certain industrial activities. Off. J. Eur. Union.

1982;1:1–18.

16. Facilities Standards for the Public Buildings Service [Электронный ресурс] – Режим доступа: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.wbdg.org/FFC/GSA/ARCHIVES/mfacstds.pdf/>

17. Foad Kiakojouri, Valerio De Biagi, Bernardino Chiaia, Mohammad Reza Sheidaii, Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects, *Engineering Structures*, 10.1016/j.engstruct.2019.110061, 206, (110061), (2020).

18. Fulvio Parisi, Martina Scalvenzi, Progressive collapse assessment of gravity-load designed European RC buildings under multi-column loss scenarios, *Engineering Structures*, 10.1016/j.engstruct.2019.110001, (110001), (2019).

19. Gianrocco Mucedero, Emanuele Brunesi, Fulvio Parisi, Progressive collapse resistance of framed buildings with partially encased composite beams, *Journal of Building Engineering*, 10.1016/j.jobe.2021.102228, 38, (102228), (2021).

20. GSA Facilities Standards for the Public Buildings Service (GSA, 2000) / [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.wbdg.org/FFC/GSA/P100_2021.pdf

21. Hathwani J.S. *Affordable Safety by Choice: The life Quality Method* / J. S. Hathwani, N. S. Lind, M. D. Pandey / Institute for Risk Research, University of Waterloo. – Waterloo, Canada, 1981.

22. International Electrotechnical Commission (IEC) *Hazard and Operability Studies (HAZOP Studies)—Application Guide*. IEC; Geneva, Switzerland: 2016. IEC 61882:2001.

23. Jose M. Adam *Research and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century* / Jose M. Adam, Fulvio Parisi, Juan Sagaseta, Xinzheng Lu // *Engineering Structures*, Volume 173, 2018, Pages 122-149, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.

24. Jose M. Adam, Fulvio Parisi, Juan Sagaseta, Xinzheng Lu *Research*

and practice on progressive collapse and robustness of building structures in the 21st century//Engineering Structures Volume 173 2018 Pages 122-149
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082>.

25. Kletz T.A. Identifying and Assessing Process Industry Hazards. 4th ed. IChemE; Rugby, UK: 1999. HAZOP and HAZAN.

26. Kletz T.A. What you don't have can't leak. Chem. Ind. 1978;6:287–292.

27. Major Industrial Accidents. Tosco Refinery fire Flawed Management Supervision [(accessed on 17 January 2018)]; Available online: <http://accidentsoilandgas.blogspot.com/2013/01/seveso-disaster-dioxin-crisis-icmesa.html>

28. Mansi Apartment / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://db.concretcoalition.org/building/105>.

29. Mashhadifarhani Salman Light Weight Steel Frames vs. Common Building Structures - Structural Performance Evaluation Vol 12 No 1 (2015): Volume 12, Issue 1: (APRIL - 2015), (MAY - 2015), (JUNE - 2015) Pages 222-229 <https://core.ac.uk/download/pdf/235049745.pdf>

30. National Institute of Health and Safety at Work (NIHSW) Papers Prevention. N° 238: HAZOP at Processing Facilities. [(accessed on 13 July 2015)]; Available online: www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_238.pdf. (In Spanish)

31. Parisi, F, Scalvenzi, M, Brunesi, E. Performance limit states for progressive collapse analysis of reinforced concrete framed buildings. Structural Concrete. 2019; 20: 68– 84. <https://doi.org/10.1002/suco.201800039>

32. Parthasarathi N., Satyanarayanan K.S., Progressive collapse behavior of reinforced concrete frame exposed to high temperature, Journal of Structural Fire Engineering, 10.1108/JSFE-05-2020-0016, ahead-of-print, ahead-of-print, (2020).

33. Perel'muter AV (2000), Selected problems of reliability and safety of building structures [Vibrani problemi nadijnosti i bezpeki budivelnih konstrukcij].

Kyiv: V.Shimanovsky UkrRDISteelconstruction, 182 p. [in Ukrainian].

34. Pichugin S. Algorithm for modeling possible failures at the construction site / S. Pichugin, L. Klochko // 36. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науковотехнічної конференції – Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 2022. – С. 96-98.

35. Pichugin S.F. Accidents analysis of steel vertical tanks / S.F. Pichugin, L.A. Klochko // Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі : тези доп. III Міжнар наук.-практ. конф., 24-25 верес. 2019 р. – К. : КНУБА, 2019. – 90-93 с.

36. Pichugin S.F. Modern problems of reliability in construction : manual for students of specialty 192 "Construction and civil engineering" / S.F. Pichugin, L.A.Klochko. – Poltava : National University "Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic", 2021. – 147 p.

37. Pichugin S.F., Klochko L.A. Accidents analysis of steel vertical tanks. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 73. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_21 С. 193-204.

38. Pichugin S.F., Klochko L.A. Building Accident Causes at a Stage of Construction and Acceptance in Operation-International Journal of Engineering & Technology – Vol 7, No 3.2 (2018) – P. 311–315. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14426

39. Pichugin S.F., Klochko L.A. Forecasting the possible accident scenario on the example of Self-framing metal buildings In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022, 181, стр. 331–342 DOI:10.1007/978-3-030-85043-2_31

40. Pichugin Sergiy (2021). Algorithm for modeling possible failures at the construction site / S. Pichugin, L. Klochko, A. Dmytrenko, T. Dmytrenko /

Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering, 2(57), 117-122.

41. Pichugin Sergiy Structural system collapse risk limitation strategy (Стратегія обмеження ризику обвалення конструктивної системи) / Sergiy Pichugin, Lina Klochko // ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: НУПП, 2020. – Т. 1 (54). – С. 19-25. – <https://doi.org/10.26906/znp.2020.54.2265>.

42. Pichugin Sergiy Особливості аварій у будівництві / Sergiy Pichugin, Lina Klochko // ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2019. – Т. 1 (52). – С. 91-101. – doi:<https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1681>.

43. Pichugin Sergiy, Klochko Lina Statistical analysis of accidents in construction // Збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи», 09 грудня 2021 року – Полтава: Полтавська політехніка 2021. – С. 331-333.

44. Planas E., Arnaldos J., Darbra R.M., Muñoz M., Pastor E., Vílchez J.A. Historical evolution of process safety and major-accident hazards prevention in Spain. Contribution of the pioneer Joaquim Casal. J. Loss Prev. Process Ind. 2014;28:109–117. doi: 10.1016/j.jlp.2013.04.005. [CrossRef]

45. Pop goes the Prosecco! Winery loses 30,000 litres of sparkling wine when a fermentation tank EXPLODES in Italy/ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-6235779/Winery-loses-30-000-litres-sparkling-wine-fermentation-tank-EXPLODES-Italy.html/>

46. Progressive Collapse Analysis and design guidelines for new federal office buildings and major modernization projects, June 2003, U.S. General Service Administration and Applied Research Associates.,

47. Raskwitz R. Acceptable Risk and Affordable Risk Control for Technical Facilities and Optimization, Submitted for Publication / R. Raskwitz // Reliability Engineering and Systems Safety. – 2003.

48. S. Park, S. Choi, C. Sikorsky, N. Stubbs, Efficient method for

calculation of system reliability of a complex structure, International Journal of Solids and Structures, Volume 41, Issues 18–19, 2004, Pages 5035-5050, ISSN 0020-7683, <https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2004.04.028>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020768304001957>)

49. San Salvatore Hospital / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://db.concretcoalition.org/building/115>.

50. Six reasons why so many buildings collapse - BBC News // [Electronic resource] - Access mode: <https://www.bbc.com/news/world-africa-47573224>

51. Starossek Uwe Typology of progressive collapse, Engineering Structures, Volume 29, Issue 9, 2007, Pages 2302-2307, ISSN 0141-0296, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.11.025>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029606004974>)

52. Stewart, Mark & Melchers, R.E.. (1997). Probabilistic Risk Assessment of Engineering Systems. Chapman & Hall, London ISBN: 0 412 80570 7

53. Turkey School bldgs - Dual System / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://db.concretcoalition.org/building/133>.

54. UFC 4-023-03 Design Of Buildings To Resist Progressive Collapse. Department of defense. USA.

55. Xiao Lu, Xinzheng Lu, Hong Guan, Lieping Ye Collapse simulation of reinforced concrete high-rise building induced by extreme earthquakes Volume 42, Issue 5 25 April 2013 Pages 705-723 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/eqe.2240>

56. Аварии зданий и сооружений на территории российской федерации в 2003 году. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/45/45817.

57. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 6. /под ред.: В. А. Котляревского / В. А. Котляревский, А. В. Р. Д. Октябрьский, И. Е. Сеницына и др. - М.: Издательство АСВ, 2003. – 408с.;

58. Аварія / [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%8F>

59. Аварія / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%B2%D0%B0%D1%80%D1%96%D1%8F>

60. Аналіз аварій в будівництві/С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко//Вісник ОДАБА, – Одеса, 2016. – 331-338 с.

61. Афонская Г.П. Влияние дефектов на несущую способность резервуаров, эксплуатируемых в условиях Севера: дисс. ... канд. техн. наук: 01.02.06 / Афонская Галина Петровна. – Якутск, 2000. – 141 с.

62. Барабаш М. Методика моделирования прогрессирующего обрушения на примере реальных высотных зданий // MOKSLAS – LIETUVOS ATEITIS SCIENCE – FUTURE OF LITHUANIA 2014 6(5)/ pp.520–530.

63. Барабаш М. С. Методи мінімізації ймовірності прогресуючого руйнування висотної будівлі при дії сейсмічних навантажень // Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві» / М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, Я. В. Покотило. – випуск 1(21)'11, 2011. – С. 17–22.

64. Беляев Б.И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Б.И. Беляев, В.С. Корниенко. М.: Стройиздат, 1968. – 208 с.

65. Беляев Б.И. Причины аварий стальных конструкций и способы их устранения / Беляев Б.И., Корниенко В.С. – М.: Стройиздат, 1968. – 205 с.

66. Березин В.Л. Вопросы эксплуатационной надежности резервуаров на нефтеперерабатывающих заводах / Березин В.Л., Мацкин А.А., Гумеров А.Г., Ясин Э.М. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1971. – 67 с.

67. В Брюсселе прогремел мощный взрыв в жилом доме / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://apostrophe.ua/news/world/europe/2017-03-18/v-bryussele-progremel-moschnyj-vzryv-v-zhilom-dome/90382>.

68. В Индии обрушилось здание // [Електронний ресурс] – Режим

доступу: <http://korrespondent.net/world / 3724495 -v-yndyy- obrushylos-zdanye-deviat-pohybshykh>.

69. В індійській Пуні обрушилася будівля: загинуло дев'ятеро людей / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.ukrinform.ru/rubric-world/2058645-v-indijskoj-pune-obrusilos-zdanie-pogibli-devat-celovek.html>.

70. В Сургуте обрушение новостройки // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ntv.ru/novosti/853188>.

71. В центре Москвы обрушилась новостройка // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://hronika.info/rossija/ 78279-v-centre-moskvy-obrushilas-novostroyka-est-postradvashie.html>.

72. В.О. Алмазов, Кхой Као Зуй. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов. – М.: АСВ, 2013. – 128 с

73. Галеев В.Б. Проектирование оснований резервуаров на слабых водонасыщенных грунтах / Галеев В.Б. // Нефтепромысловое строительство. – М.: ВНИИОЭНГ, 1976. – С. 13-15.

74. Герсеванов М.Н. О крушениях инженерных сооружений / М.Н. Герсеванов. – С.-Петербург: Типография Ю.Н. Эрлих, 1896. – 33 с.

75. Гриб А. Обрушение перекрытий восьмиэтажного дома на Лиговском проспекте / Аварии в строительстве [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <http://bcrash.ru/?p=1507>.

76. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. – К., Мінрегіон України, 2013. – 40 с.

77. ДБН В.1.2-14-2009. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ, Київ, 2009.

78. ДБН В.1.2-14-2018 «ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд». – К., Мінрегіон України, 2018. – 30 с.

79. ДБН В.2.2-24:2009 «Проектування висотних житлових і громадських будинків».– К.,МінрегіонУкраїни, 2009. – 161с.
80. ДБН Д.1.1-1-2000 «Правила визначення вартості будівництва». – К.: Держбуд України, 2000.
81. День, що змінив Америку. 10 цифр, які розкривають колосальний масштаб наслідків 11 вересня [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://nv.ua/ukr/world/countries/11-veresnya-2001-naslidki-i-masshtab-terroristichnih-aktiv-9-11-20-rokiv-po-tomu-foto-50182035.html/>.
82. Добромислов А.Н.Ошибки проектирования строительных конструкций: Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 184 с.
83. ДСТУ ХХХХ:20ХХ (Проект, перша редакція) «Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого обвалення». – К.: Мінрегіон, 202Х – 74с.
84. ДСТУ 8855:2019 «Визначення класу наслідків (відповідальності)» К., ДП УкрНДНЦ»Київ, 2019. – 17 с.
85. Еремин К.И. Причины и последствия аварий зданий и сооружений, произошедших в 2010 году /Предотвращение аварий зданий и сооружений / [Електронний ресурс] / К.И. Ерёмин, Н.А. Шишкина. – Режим доступу до журн.: <http://ramag.ru/pazis>.
86. Ерёмин К.И. Хроника аварий зданий и сооружений, произошедших в 2009 г. / Предотвращение аварий зданий и сооружений / [Електронний ресурс] / К.И. Ерёмин. – Режим доступу до журн.: <http://chrome-extension://esnphlgnajanjnkcmbrancdjoidceilk>.
87. Закон України від 14.12.1999 № 1281-XIV «Про аварійно-рятувальні служби» / Верховна Рада України // <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1281-14#Text>.
88. Землянский А.А. Принципы конструирования и экспериментально-теоретические исследования крупногабаритных резервуаров: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.23.01, 05.23.02 / Землянский

Анатолий Андреевич. – Балаково, 2006. – 417 с.

89. Иванов Ю.К. Основания и фундаменты резервуаров / Иванов Ю.К., Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н. – М.: «Стройиздат», 1989. – 95 с.

90. Імовірісно-статистичні методи прийняття рішень. Імовірісно-статистичні методи дослідження та метод системного аналізу. Загальнологічні методи наукового дослідження [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://derevofilm.ru/uk/veroyatnostno-statisticheskie-metody-prinyatiya-reshenii-veroyatnostno-statisticheskie-metody-issledovaniya/>.

91. Кондаков Г.П. Проблемы отечественного резервуаростроения и возможные пути их решения / Кондаков Г.П. // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. – №5.

92. Кондрашева О.Г. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров / Кондрашева О.Г., Назарова М.Н. // Нефтегазовое дело. – №2, 2004. – С. 36-43.

93. Коновалов П.А. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований / Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. – М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 336 с.

94. Коновалова О.П. Учет консолидации в повышении эксплуатационной надежности стальных резервуаров большой емкости: дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Коновалова Ольга Павловна. – Тюмень, 2002. – 176 с.

95. Лашенко М.Н. Аварии металлических конструкций зданий и сооружений / М.Н. Лашенко. – Л.: Стройиздат, 1969. – 184 с.

96. Леденев В.В. Аварии в строительстве т.1. Причины аварий зданий и сооружений / В.В. Леденев. – Тамбов, 2014. – 209 с
https://www.tstu.ru/book/elib2/pdf/2014/ledenev_2.pdf

97. Лычѳв А.С. Надѳжность строительных конструкций. Учебное пособие. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 184 с.

98. Методичні рекомендації з проектування статистичної методології [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://ukrstat.gov.ua/norm_doc/2020/361/%d0%9c%d0%9f%20361.pdf.

99. Міністр назвав причину обвалу даху спортзалу під Києвом [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://kiev.segodnya.ua/ua/kiev/kaccidents/ministr-razval-prichinu-obrusheniya-kryshi-sportzala-pod-kievom-1194113.html>

100. На Уралі при обрушенні недостроєного дома серйозно ранен робочий // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://vistanews.ru/incident/77645>.

101. Надзвичайні ситуації техногенного характеру / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.nmz.sumy.ua/Nadzvychaya/Nadzvychaya-18.html>

102. Назвали причину обвалу будинку у Дрогобичі [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://konkurent.ua/publication/47760/nazvali-prichinu-obvalu-budinku-u-drogobichi/>.

103. Наука и безопасность, журнал

104. Небоскреб в Дубае горел как факел / [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.gazeta.ru/social/2017/08/04/10817617.shtml>.

105. Обвал будинку в Саварі [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki>.

106. Обвалення житлового будинку в Росії: кількість жертв зросла до семи BBS NEWS Україна [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://www.bbc.com/ukrainian/news-russian-46722734>.

107. Обрушение здания в Тель-Авиве: двое погибших, пятеро пропавших // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://9tv.co.il/news/2016/09/05/231142.html>.

108. Обрушение торгового центра «Махіма» в Риге [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

109. Основи теорії надійності будівель і споруд. Методичні вказівки до

самостійної роботи студентів спеціальності 192 "Будівництво та цивільна інженерія" усіх форм навчання. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 50 с.

110. Основи теорії надійності будівель і споруд. Навчальний посібник для студентів будівельних спеціальностей усіх форм навчання / В.А. Пашинський: – Кіровоград: КНТУ, 2016. – 154 с.

111. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Тези 72-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 15 травня 2020 р.). – Полтава : НУПП, 2020. – Т. 1. – С. 489-491.

112. Патент Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з трубобетонною колоною / Пат. 98330. Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з трубобетонною колоною – № и 2014 11959; заявл. 05.11.14; опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8. – 4 с.

113. Перельмутер А.В. Избранные проблемы надежности и безопасности строительных конструкций /А.В. Перельмутер. – 2-е изд., перераб. і доп. – К: Изд-во УкрНИИПроектстальконструкция, 2000. – 216 с.

114. Першаков В.М. Проблеми протидії конструкцій прогресуючому обваленню будівель та споруд: монографія / В. М. Першаков, М. С. Барабаш, А. О. Белятинський, К. М. Лисницька. – К.: НАУ, 2015. – 456 с.

115. Пичугин С.Ф. Снеговые и гололедные нагрузки на строительные конструкции [Текст]: Монографія/С.Ф. Пічугін, А.В. Махинько. – Полтава: ООО «АСМИ», 2012. – 460 с.

116. Пичугин С.Ф. Статистическая обработка классификации аварий в строительстве за этапом эксплуатации строительного объекта / С.Ф. Пичугин, Л.А. Клочко// The IV th International scientific and practical conference «Integration of scientific bases into practice» (October 12-16, 2020). Stockholm, Sweden 2020. – С. 27–29.p.

117. Пічугін С.Ф. The reasons of buildings accidents at a stage of

construction and acceptance in operation/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Збірник наукових праць за матеріалами I міжнародної азербайджансько-української конференції «Building innovations – 2018» — Полтава: ПолтНТУ, 2018 – С. 86-88 <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/4614>

118. Пічугін С.Ф. Аналіз аварій будівельних об'єктів/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Тези доповідей 69-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. — Полтава: ПолтНТУ, 2017 – С. 232-234

119. Пічугін С.Ф. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту / С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Збірник наукових праць X Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки», 6 – 8 грудня 2017 року. - Полтава: ПолтНТУ, 2017. – 315 - 322 с.

120. Пічугін С.Ф. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // II Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі» // Зб. тез. – Київ, 2018. – с. 96-99 <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PoltNTU/4613>

121. Пічугін С.Ф. Економічні й неекономічні наслідки аварій будівельних об'єктів/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Тези доповідей 68-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. — Полтава: ПолтНТУ, 2016 – С. 196-197

122. Пічугін С.Ф. Класифікація аварій будівельних об'єктів різного призначення / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі». – Харків, 2020. – С. 18-19.

123. Пічугін С.Ф. Конспект лекцій із дисципліни «Методика граничних

станів і нормування навантажень» для студентів спеціальності 8.06010101 Промислове і цивільне будівництво, освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр». Полтава: ПолтНТУ, 2014. 260 с.

124. Пічугін С.Ф. Особливості аварій в будівництві / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація : зб. тез. – Полтава : ПолтНТУ, 2018. – Вип. 13. – С. 27–30.

125. Пічугін С.Ф. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Building innovations – 2020 : зб. наук. пр. за матеріалами III Міжнар. Азерб.-укр. Наук.-практ. конф. (1 – 2 черв. 2020 р.). – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2020. – С. 159–160.

126. Пічугін С.Ф. Передумови створення статистики аварій будівельних об'єктів / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.). – Полтава : ПолтНТУ, 2019. – Т. 1. – С. 404-405.

127. Пічугін С.Ф. Питання прогресуючого руйнування будівель і споруд / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки : зб. наук. пр. за матеріалами XI Міжнар. наук.-практ. конф., 20 – 21 груд. 2018 р. – Полтава : ПолтНТУ, 2018. – С. 213–216.

128. Пічугін С.Ф. Причини та наслідки аварій сталевих вертикальних резервуарів / С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Building Innovations – 2019 : зб. наук. пр. за матеріалами II Міжнар. укр.-азерб. конф., 23 – 24 трав. 2019 р. – Полтава : ПолтНТУ, 2019. – С. 174-175.

129. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій / С.Ф. Пічугін. – Полтава.– Вид-во АСМТ, 2016. – 564 с.

130. Пічугін С.Ф. Статистичний аналіз аварій у будівництві/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Тези IV Міжнародної конференції «Експлуатація та

реконструкція будівель і споруд». – Одеса, 2021. – С. 138-140.

131. Пічугін С.Ф. Статистичний аналіз аварій у будівництві/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Клочко // Тези IV Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд». – Одеса, 2021. – С. 138-140.

132. Пічугін С.Ф. Характеристика аварій в будівництві/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Матеріали всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій». – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2015. –256-260 с.

133. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Алгоритм моделювання можливого виникнення аварії як частина проектної документації будівельного об'єкта //Тези 74-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 26 квітня – 19 травня 2022 р.).

134. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Забезпечення надійності сталевих резервуарів – запорука їх екологічної безпеки//Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (2-3 грудня 2021 року). Полтава: НУПП, ПП «Астрая» 2021. – С. 262-263.

135. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Класифікація аварій будівельних об'єктів, що експлуатуються //Тези 73-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.). – Полтава : НУПП, 2020. – Т. 1. – С. 134-135.

136. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Моделювання можливого виникнення аварії будівельного об'єкту //Збірник наукових праць IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2021», 20 – 21 травня 2021 року – Полтава: Національного університету «Полтавська політехніка», 2021. – С. 159-161 с.

137. При обрушении недостроенного здания // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://kgd.ru/news/incident/item/41772-pri-obrushenii-nedostroennogo-zdaniya-v-chernyahovske-pogib-11-letnij-rebjonok>.

138. Причины аварий будівель на етапі зведення та прийняття в експлуатацію/ С.Ф. Пічугін, Л.А. Дмитренко //Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація - Зб. наук. статей. Вип. 12. – Полтава: ПолтНТУ, 2016. – 194–203 с.

139. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров Кондрашова О.Г., Назарова М.Н..

140. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 : учеб. пособие [Текст] / Д.А. Городецкий, М.С. Барабаш, Р. Ю. Водопьянов, В. П. Титок, А. Е. Артамонова / Под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. – Київ, Электронное издание, 2013. – 376 с.

141. Райзер, В. Д. Теория надежности сооружений / В. Д. Райзер. – Москва : АСВ (Ассоциация строительных вузов), 2010. – 384 с. : схем., ил. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=349131> (дата обращения: 14.01.2022). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-93093-739-8.

142. РБС Україна // [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://daily.rbc.ua/rus/show/obrushenie-zdaniya-v-indii-kolichestvo-pogibshih-uvvelichilos-06042013123100>.

143. Реконструкція будівлі шляхом надбудови та її переваги // Молодіжний науковий форум: Технічні та математичні науки: електро. зб. ст. за матеріалами III студ. міжнар. заочної наук.-практ. конф. - М. : «МЦНО». - 2013 -№ 3 (3) / [Электронный ресурс] - Режим доступа. - URL: https://nauchforum.ru/archive/MNF_social/3.pdf

144. Розенштейн И.М. Аварии и надежность стальных резервуаров / Розенштейн И.М. – М.: Недра, 1995 – 253 с.

145. Самые масштабные разрушения зданий в мире. Часть 1. / Портал строительной техники Украины / [Электронный ресурс] / – Режим доступа:

<http://enkibiz.com/articles>.

146. Сахновский М.М. Уроки аварии стальных конструкций / М.М. Сахновский, А.М. Титов. – К.: Будівельник, 1969. – 200 с.

147. Семенко М. Дах летів просто на дітей: під Києвом схопили винних у страшній аварії в школі [Електронний ресурс] / – Режим доступу: <https://m.znaj.ua/society/191777-dah-letiv-prosto-na-ditey-pid-kiyevom-shopili-vinnih-u-strashniy-avariji-v-shkoli>.

148. Семко О. В. Керування ризиками при проектуванні та експлуатації сталезалізобетонних конструкцій [Текст] : монографія / О. В. Семко, О. П. Воскобійник. – Полтава : ПолтНТУ, 2012. – 514 с.

149. Случаи обрушения зданий за рубежом в 2011-2013 годах [Електронний ресурс]: РИА Новости – режим доступу: <http://ria.ru/spravka>.

150. СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения <https://docs.cntd.ru/document/551394640>

151. Статистика аварий «ГЦЭ-Север» / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.gce.ru/press/press-release/statistika_obrushenij_za_god_v_rossii/

152. Тавкинъ, А.А. Основные причины аварий зданий и сооружений [Текст] / А.А. Тавкинъ // Предотвращение аварий зданий и сооружений: сетевой журнал. url: <http://www.pamag.ru/journal> (дата звернення: 26.04.2011).

153. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дисс. ... канд. техн. наук: 05.15.13 / Тарасенко Александр Алексеевич. – Тюмень, 1991. – 253 с.

154. Терешкова А.В Аварии и катастрофы зданий и сооружений / А.В. Терешкова, И.Я. Петухова / [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://isi.sfu-kras.ru/sites/is.institute.sfu-kras.ru/files/Avarii_i_katastrofy_zdaniy_i_sooruzheniy.pdf.

155. ТКП 45-3.02-108-2008. Высотные здания. Строительные нормы проектирования, Типпроект, Мн.: 2008, 178 с.

156. Трансвааль-парк [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

157. Тур В.В. Расчет конструктивных систем в особых ситуациях Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym С. 39-50.

158. У Танзанії десятки людей - під завалами [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.bbc.com/ukrainian/news_in_brief/2013/04/130401_ek_tanzania_ruin_building

159. Ханухов Х.М. Нормативно-техническое и организационное обеспечение безопасной эксплуатации резервуарных конструкций / Ханухов Х.М., Алипов А.В. // Электронный журнал «Предотвращение аварий зданий и сооружений». – 2011.

160. Швырков С.А., Семиков В.Л. / Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1996, № 5. С. 39-50.

161. Шкинев А.Н. Аварии в строительстве /А.Н.Шкинев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1984.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця А1

Статистика аварій будівель та споруд за 2000-2022 р.

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
1995	06.09.1995	Південна Корея	Сеул	Колона	502	937	Безбалкова залізобетонна	Прогресуюче руйнування	Неякісний фундамент, слабкий ґрунт, неякісна суміш для розчину, влаштовані колони неправильного діаметру, розміщення трьох промислових кондиціонерів на даху будівлі
2001	24.06.2001	США	Флорида	Колона	14	98	Житловий будинок	Прогресуюче руйнування	За три роки до обвалення експерти виявили серйозне пошкодження конструкції[15]. Повідомлялося про необхідність усунення тріщин у колонах і стінах підземної парковки. Через кілька

Продовження таблиці А1

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
									днів після обвалення в будівлі повинні були початися ремонтні роботи[46]. Мешканці скаржилися на тріщини в бетоні і вологу, що накопичується[21]. Були повідомлення про воду в підвальних приміщеннях[26][47].
2003	02.05.2003	Росія	Москва	Невідомо	0	0		Обвалення конструкцій торговельного центру	
2005	22.02.2005	Росія	Санкт-Петербург	Покриття	0	0	У Фрунзенському районі, 21 лютого, обвалився дах триповерхового торгово-розважального		горизонтальні опори металевого каркаса не витримали вагового навантаження залитого бетоном даху, після обвалу якого почалася подальша руйнація будівлі

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
							комплексу, що будується, розташованого на розі Празької вул. та ін Слави. За даними МНС, причиною події стало порушення будівельної технології.		
2006	23.02.2006	Росія	Москва	Дах, ванта, корозія	33	68		Корозійни знос вантових конструкцій	причиною трагедії став обрив одного з тросів, на яких тримався дах: він був зіпсований корозією і перевантажений через позапланову розбудову будівлі та відсутність капітального ремонту. Утеплювач покрівлі, за заявами експертів,

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
									«місцями перебував у перезволоженому стані, а деякі елементи несучих конструкцій оболонки мали корозійне зношування до 50 %»
2004	14.02.2004	Росія	Москва	Покриття	0	28			Обвал даху спортивно-розважального комплексу «Трансвааль-парк»
2009	10.03.2009	Чехія	Прага	Перекриття	0	0	Чотирьохповерховий будинок, в період реконструкції.	Три поверхи зруйновані.	Знос перекриттів
2009	27.04.2009	Турція	Стамбул	Перекриття	1	1	Чотирьохповерхова будівля ТРЦ.		

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	06.05.2021	Турція	Стамбул	Несуча стіна	0	0	Пятиповерхова житлова будівля	Почали активно утворюватися тріщини, люди самі евакуювалися	Аварійність будівлі
2009	28.04.2009	Азербайджан	Баку	Невідомо	3	0	Готель у процесі будівництва		
2019	08.02.2019	Турція	Стамбул	Колона, перекриття	14	15	8 поверхова житлова будівля	Прогресуюче руйнування	Демонтаж колон та стіни для розширення площу першого поверху
2007	28.08.2007	Азербайджан	Баку	Невідомо	4	25	16 поверхова житлова будівля		Недотримання технології проведення будівельних робіт, недотримання техніки безпеки та будівельних норм
2022	24.01.2022	Турція	Стамбул	Покриття	1	0	Вантажна будівля аеропорту	Повне руйнування покрівлі	Надмірні снігові навантаження

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2018	24.07.2018	Турція	Стамбул	Вся будівля	0	0	4 поверхова житлова	Зсув ґрунту	Проливні дощі спричинили зсув ґрунту на сусідньому будівельному майданчику.
2009	15.06.2009	Росія	Красноярськ	Перекриття	2	3	4 поверхова офісна	Обвал чотирьох прольотів	Несанкціоноване планування приміщень на першому та другому поверхах.
2009	27.06.2009	Китай	Шанхай	Фундамент	1	0	13 поверхова житлова	Руйнування пального фундаменту	Помилки у проектуванні фундаменту
2009	22.07.2009	Росія	Астрахань	Перекриття	0	2	5 поверхова житлова, гуртожиток	Знос будівельних конструкцій	Некоректна реконструкція
2009	16.08.2009	ОАЕ	Дубаї	Вся будівля	0	0	5 поверхова житлова	Прогресуюче руйнування	Неправомірне використання матеріалів, слабкі конструкції

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2009	07.10.2009	Республіка Бурунді, Африка		Вся будівля	40	14	Офіс президентської партії	Прогресуюче руйнування	Достовірно не відомі
2010	01.01.2010	Грузія	Тбілісі	Несуча стіна	0	0	3 поверховий житловий	Обвал несучої стіни аварійного будинку	Великий від будівлі, не проведення своєчасних ремонтних робіт
2010	08.01.2010	Грузія	Тбілісі	Перекриття	0	2	9 поверхова офісна будівля	Прогресуюче руйнування	Проведення капітального ремонту
2010	09.01.2010	Росія	Санкт-Петербург	Перекриття	4	0	8 поверхова житлова будівля	Прогресуюче руйнування	Неправильна реконструкція
2010	29.01.2010	Китай	Гонконг	Перекриття	3	0	Житловий будинок	Перекриття	Некоректна реконструкція
2010	10.02.2010	Китай	Сіань	Невідомо	10	0	4 поверхова	Невідомо	Низька якість матеріалів

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2016	11.10.2016	Китай	Веньчжоу	Вся будівля	6	22	Житлова	Прогресуюче руйнування	Неякісне будівництво, несвоєчасне обстеження технічного стану
2010	16.03.2010	Україна	Харків	Стіна	0	0	6 поверховий будинок	Стіна	Реконструкція велася не правомірно без залучення фахівців
2022	01.01.2022	Україна	Харків	Стіна	0	0	4 поверховий офісний	Фасадна стіна	Сусіднє будівництво, помилки будівельників
2010	21.03.2010	Україна	Одеса	Крило флігеля	0	0	Аварійний будинок	Перекриття	Не проведення своєчасних ремонтних робіт
2010	26.11.2010	Росія	Советськ	Несуча стіна, перекриття	0	0	Аварійний будинок	Несуча цегляна стіна, а слід за нею сходові марші та міжповерхові перекриття.	Не проведення своєчасних ремонтних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2011	10.03.2011	Італія	Барлетта	Перекрыття	0	4	3 поверховий житловий	Невідомо	Проведення ремонтних робіт по сусідству
2011	26.06.2011	Китай	Сіань	Перекрыття	0	7	5 поверхова	Невідомо	Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки.
2011	02.11.2011	Єгипет	Луксор	Несучі конструкції	20	15	7 поверхова	Невідомо	Аварійність будівлі
2012	02.01.2012	Єгипет	Думьят	Несучі конструкції	3	30	3 поверхова	Несуча стіна	Некоректна реконструкція
2012	15.01.2012	Ліван	Бейрут	Стіна	12	27	5 поверхова	Несуча стіна	Тріщини в результаті проливних дощів
2012	14.07.2012	Єгипет	Александрія	Вся будівля	15	0	Аварійна, незаселена	Обвал на будинки біля	Аварійність будівлі
2012	01.09.2012	Індія	Пуна	Перекрыття	2	6	Багатоповерхова житлова будівля	Крихке руйнування плити перекрыття	Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2012	01.11.2012	Єгипет	Александрія	Перекриття	0	10	Багатоповерхова житлова будівля		Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2012	01.12.2012	Індія	Вагхоли	Перекриття	0	13	Багатоповерхова житлова будівля		Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2012	13.12.2012	Росія	Таганрог	Невідомо	14	5	Багатоповерхова житлова будівля		Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2013	07.01.2013	Росія	Санкт-Петербург	Стіна	0	1	Багатоповерхова житлова будівля	Житлова стіна	Недотримання техніки монтажу
2013	11.01.2013	Росія	Владимир	Перекриття	0	0	Дитсадок	Обвалення стелі	Недотримання техніки монтажу

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	16.01.2013	Єгипет	Александрія	Вся будівля	15	25	8 поверховий будинок	Житлова будівля	Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2013	08.02.2013	Росія	Красноярськ	Стіна	0	2	Шляхопровід	Обвалення опорної стіни	Порушення умов та терміну експлуатації
2013	12.02.2013	Росія	Санкт-Петербург	Стіна	1	1	Будівля Військової академії зв'язку імені Будьоного	Обвалення стіни	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	13.02.2013	Україна	Суми	Вся будівля	0	0	Торгівельний центр	Прогресуюче руйнування	Невідомо
2013	09.03.2013	Росія	Іркутськ	Балкон	2	0	Житлова багатоповерхового	Обвал балкону	Невідомо
2013	12.03.2013	Росія	Санкт-Петербург	Перекрыття	0	0	Житловий будинок	Обвал стелі	Ремонтні роботи

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	29.03.2013	Танзанія	Дар-Ес-Салам	Вся будівля	0	36	12 поверховий житловий	Прогресуюче руйнування	Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2013	04.06.2013	Росія	Пача	Перекриття	0	1	Житлова багатоповерховою	Обвалення бетонної плити перекриття	Аварійність будівлі
2013	10.04.2013	Росія	Іркутськ	Перекриття	1	2	Житлова багатоповерховою	Обвалення бетонної плити перекриття	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	23.04.2013	Бангладеш	Савар	Вся будівля	2500	1134	Промислова будівля	Прогресуюче руйнування	Вібраційні навантаження. Встановлення генераторів із порушенням норм безпеки та без відповідних дозволів
2013	09.05.2013	Росія	Рязань	Покриття	0	1	Одноповерхова	Стеля	Обвалення стелі

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	12.05.2013	Росія	Сахалінськ	Перекриття	0	0	Хол торговельно-розважального комплексу «Панорама»	Підвісна стеля	Помилки, допущені при проектуванні
2013	24.05.2013	Росія	Пермський край	Перекриття	0	2	Житлова багатоповерхов а	Горищне перекриття	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	27.05.2013	Росія	Алтайський край	Покриття	5	1	Житлова багатоповерхов а	Покрівля будівлі, яка не експлуатувалася	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	29.05.2013	Росія	Ростовська область	Стіна	0	0	Гуртожиток	Обвалення стіни	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	04.04.2013	Індія	Махаратша	Вся будівля	100	74	7 поверхова житлова будівля		Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	27.09.2013	Індія	Мумбаї	Вся будівля	32	61	5 поверхова житлова будівля		Незаконне будівництво з порушенням правил безпеки, низька якість матеріалів
2013	06.07.2013	Росія	Пермський край	Стіна	2	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стіни	Неправильна реконструкція
2013	08.07.2013	Росія	Москва	Вся будівля	0	0	Магазин	Вся будівля	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	14.07.2013	Росія	Самара	Стіна	0	0	Житлова багатоповерхов а	Часткове обвалення стіни	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	16.07.2013	Росія	Новосибірськ	Покриття	2	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування покрівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	18.07.2013	Росія	Барнаул	Стіна	0	2	Житлова багатоповерхов а	Часткове обвалення стіни	Порушення умов (в тому числі термінів) експлуатації будівлі
2013	19.07.2013	Росія	Архангельська область	Вся будівля	0	1	Водонапірна башта		Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	26.07.2013	Росія	Краснодарський край	Стіна	1	2	Господарської будівля	Обвалення стіни занедбаної господарської будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	07.08.2013	Росія	Комунар	Стіна	1	0	Металобаз а	Обвалення стіни на території металобаз и	
2013	11.08.2013	Росія	Челябінськ	Вся будівля	1	3	2 поверхова		

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	19.08.2013	Росія	Уфа	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення несучої конструкції на горищі житлової будівлі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	24.08.2013	Росія	Кемерово	Вся будівля	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини не експлуатуючої будівлі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	25.08.2013	Росія	Ростов-на-Дону	Стіна	0	0	Житлова багатоповерхов а		Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	27.08.2013	Росія	Новосибірськ	Стіна	2	0	Житлова багатоповерхов а		Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	09.09.2013	Росія	Новосибірська область	Перекриття	0	1	Житлова одноповерхова	Обвалення стелі в приватному будинку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	13.09.2013	Росія	Північна Осетія	Покриття	5	0	Спортивна школа	Руйнування покрівлі будівлі під час будівництва спортивної школи	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	17.09.2013	Росія	Оренбург	Перекриття	0	0	Обласний клінічний протитуберкульозний диспансер	Обвалення бетонних перекриттів	Недотримання норм при будівництві
2013	20.09.2013	Україна	Пос. Київський	Кабіна ліфту	0	1	Будівельна споруда	Падіння кабіни ліфту	Недотримання норм при будівництві
2013	20.09.2013	Росія	Пермь	Перекриття	0	0	Адміністрація Управл. житл. відносин	Часткове руйн. стелі	Некоректна експлуатація
2013	21.09.2013	Росія	Курган	Балкон	1	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування балкону	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	22.09.2013	Росія	Єкатеринбург	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стіни будівлі під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	25.09.213	Росія	Томськ	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стелі житлового будинку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	10.10.2013	Росія	Новосибірськ	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стелі житлового будинку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	10.10.2103	Росія	Волгоград	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а		Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	14.10.2013	Росія	Єкатеринбург	Перекриття	0	0	Торгівельний центр	Обвалення другого поверху торгового центру під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	15.10.2013	Росія	Курган	Стіна	1	1	Приватний житловий будинок	Обвалення стіни приватного житлового будинку під час будівництва	
2013	18.10.2013	Росія	Тюмень	Фасад	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування частини цегляного облицювання житлового будинку	Брак, низька якість будівельних матеріалів
2013	22.10.2013	Росія	Серов	Сходи	0	0	Гуртожиток	Обвалення сходів в будівлі гуртожитку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	23.10.2013	Росія	Кіров	Перекриття	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення дерев'яного настилу між несучими балками житлової	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
								будівлі	
2013	24.10.2013	Росія	Астраханська область	Перекриття	0	0	Магазин та бібліотека	Обвалення стелі будівлі магазину та бібліотеки	
2013	24.10.2013	Росія	Псків	Перекриття	2	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення перекриття стелі трьох квартир в житловому будинку	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	25.10.2013	Росія	Томськ	Стіна	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини стіни будівлі під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	30.10.2013	Росія	Ростовська область	Покриття	2	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування даху двоповерхової будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	09.11.2013	Росія	Московська область	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхов а	Руйнування залізобетонної стіни	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	12.11.2013	Росія	Москва	Покриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування більш ніж 100 кв м. покрівлі будівлі	Помилки, допущені при проектуванні
2013	13.11.2013	Росія	Ростовська область	Покриття	10	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення даху будівлі під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	13.11.2013	Росія	Московська область	Вся будівля	0	2	Торгівельний центр	Обвалення торговельного центру під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	14.11.2013	Росія	Мордовія	Сходи	1	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування сходового прольоту	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	20.11.2013	Росія	Брянська область	Вся будівля	1	2	Міст		Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	21.11.2013	Латвія	Рига	Вся будівля	40	54	Торгівельний центр	Руйнування торговельного-центру "Maxima"	Порушення проектування, правил будівництва, зберігання на даху будівельних матеріалів
2013	24.11.2013	Росія	Мурманськ	Покриття	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення даху житлової будівлі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	27.11.2013	Росія	Березинки	Фасад	0	0	Дитсадок	Руйнування штукатурки	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	28.11.2013	Росія	Москва	Козирьок	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування залізобетонного козирка житлової будівлі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2013	08.12.213	Росія	Красноярськ	Стіна	0	1	Лікарня	Руйнування стіни	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	10.12.2013	Росія	Якутськ	Вся будівля	0	0	Житлова багатоповерхов а	Часткове руйнування будинку під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	11.12.2013	Росія	Новосибірськ	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стіни будівлі під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	22.12.2013	Україна	Київська область	Вся будівля	2	1	Житлова одноповерхова	Обвалення приватного будинку	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	25.12.2013	Росія	Москва	Перекриття	0	0	Споруда	Часткове обвалення стелі складу	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	26.12.2013	Росія	Нижній Новгород	Вся будівля	1	0	Торгівельний центр	Обвалення частини торгового-центра під час будівництва	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2013	28.12.2013	Росія	Іваново	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхова	Обвалення перекриття стелі житлового будинку	Брак, низька якість будівельних матеріалів

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2013	29.12.2013	Росія	Северодвинск	Вся будівля	0	1	Комбінат	Обвалення конструкції комбінату. Площа руйнування склала близько 300 кв метрів.	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	12.01.2014	Росія	Москва	Карниз	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини карнизу житлового будинку	Брак, низька якість будівельних матеріалів
2014	21.01.2014	Росія	Челябінська область	Покриття	0	0	Заправка	Обвалення даху автозаправки	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	23.01.2014	Росія	Москва	Кран	1	1	Кран	Падіння крану	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	25.01.2014	Росія	Салехард	Перекриття	0	1	Житлова багатоповерхов а	Руйнування стелі в будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	26.01.2014	Росія	Ульяновськ	Траншея	0	3	Споруда	Обвалення траншеї будівельної площадки «Запад-1»	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	29.01.2014	Росія	Оренбург	Перекриття	1	1	Торгівельний центр	Обвалення бетонної плити під час будівництва торговельного комплексу	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	02.02.2014	Росія	Краснодар	Перекриття	0	0	Торгівельний центр	Обвалення стелі перекриття в ТРЦ «Галерея Краснодар»	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	16.02.2014	Росія	Москва	Тунель	0	0	Тунель	Обвалення в тунелі метрополітену	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	19.02.2014	Росія	Карелія	Вся будівля	1	1	Житлова одноповерхова	Руйнування одноповерхової будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	19.02.2014	Росія	Республіка Башкортостан	Покриття	0	0	Школа	Обвалення даху середньо-освітньої школи	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	20.02.2014	Росія	Алтайський край	Стіна	1	1	Житлова багатоповерхова	Обвалення стіни будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	20.02.2014	Росія	Нижегородська область	Перекрытия	0	1	Завод	Обвалення плити перекрытия заводу	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	20.02.2014	Росія	Республіка Башкортостан	Перекриття	0	0	Гімназія	Обвалення навісної стелі в гімназії	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	21.02.2014	Росія	Москва	Стіна	1	0	Промислова будівля	Руйнування стіни промислової будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	25.02.2014	Росія	Свердловська область	Покриття	0	0	Барак	Обвалення даху двоповерхового барака	Помилки, допущені при проектуванні
2014	26.02.2014	Росія	Курганська область	Перекриття	1	0	Будівля газової котельні	Обвалення плити перекриття в будівлі газової котельні	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	28.02.2014	Росія	Мурманськ	Перекриття	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення конструкцій в недобудові	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	03.03.2014	Росія	Санкт-Петербург	Перекриття	1	1	Шосе	Обвалення балки на ділянці Московського шосе	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	05.03.2014	Росія	Саратов	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення підвалу житлового будинку	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	13.03.2014	Росія	Пермь	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвалення стіни під'їзду в житловому будинку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	15.03.2014	Росія	Новосибірськ	Огородження	3	0	Огородження	Обвалення ганку будівельного огороження	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	19.03.2014	Росія	Мурман-ська	Стеля	0	0	Лікарня	Обвалення перекриття стелі центральної районної лікарні	Помилки, допущені при проектуванні
2014	27.03.2014	Росія	Республіка Саха	Вся будівля	1	0	Прибудова до котельні	Часткове обвалення прибудови котельні дитсадка	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	14.04.2014	Росія	Архангельск	Вся будівля	1	0	Торгівельний центр	Руйнування конструкцій громадсько-ділового центру, який знаходився на стадії будівництва Обвалення будівельних конструкцій у процесі заливки бетону	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	15.04.2014	Росія	Нижній Новгород	Стіна	0	0	Гуртожиток	Часткове обвалення стіни гуртожитку	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	16.04.2014	Росія	Пермський край	Вся будівля	0	1	РАГС	Обвалення будівлі РАГСу	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	16.04.2014	Росія	Рибінск	Ганок	0	1	Житлова одноповерхова	Руйнування ганку будівлі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	20.04.2014	Росія	Москва	Стіна	0	1	М'ясокомбінат	Обвалення стіни м'ясокомбінату	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	21.04.2014	Росія	Оренбург	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхова	Руйнування частини стіни будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	22.04.2014	Росія	Нижній Новгород	Фасад	0	0	Медакадемія	Руйнування фасаду будівлі медакадемії	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	23.04.2014	Росія	м. Санкт-Петербург	Стіна	1	1	Торгівельний центр	Руйнування стіни торгового центра	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	25.04.2014	Росія	м. Городок	Стіна	0	1	Житлова багатоповерхов а	Руйнування стіни будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	04.05.2014	Росія	Пенза	Перекриття	0	0	Торгівельний центр	Обвалення конструкції стелі в великому торговельно-розважальному центрі.	Брак, низька якість будівельних матеріалів
2014	13.05.2014	Росія	Санкт-Петербург	Штукатурка	0	0	Академія	Обвалення штукатурки академії педагогічної освіти	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	14.05.2014	Росія	Вітебськ	Стіна	1	0	Гараж	Обвалення цегляної стіни оглядової ями гаражу	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	14.05.2014	Росія	Єкатеринбург	Перекриття	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвалення бетонної плити	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	03.06.2014	Росія	Сургут	Стіна	1	2	Офісна будівля	Обрушення бетонного перекриття в офісній будівлі, що знаходилася на стадії будівництва Обвал міжповерхового перекриття новобудови	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	03.07.2014	Росія	Кинельський район		0	0	Водонапірна башта	Руйнування водонапірної башти	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	05.08.2014	Росія	Ростов-на-Дону	Балкон	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення балкону будівлі	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	01.09.2014	Росія	Курганська область	Вся будівля	0	0	Житлова багатоповерхов а	Часткове обвалення житлового будинку	Брак, низька якість будівельних матеріалів
2014	03.10.2014	Росія	Киргизія	Покриття	0	0	Школа	Руйнування даху середньої школи	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	03.10.2014	Росія	Приморський край	Покриття	0	4	Порт	Обвалення навісу в порту	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт
2014	02.11.2014	Росія	Санкт-Петербург	Вся будівля	0	0	Історичний корпус	Руйнування одного з історичних корпусів на вулиці	Недотримання технології проведення будівельно-монтажних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
								Шпалерній	
2014	02.11.2014	Росія	Магнітогорськ	Парапет та фасад	0	0	Коледж	Обвалення частини парапету та частини фасаду будівлі коледжу	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2014	03.11.2014	Росія	Аткарск, Саратовська область	Штукатурка	2	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення штукатурки зі стелі	Порушення умов (у тому числі термінів) експлуатації
2015	23.02.2015	Росія	Черняховськ	Вся будівля	0	1	Заморожений об'єкт	Руйнування стіни недобудованого об'єкту, будівництво якого було призупинене.	Заморожене будівництво
2015	15.08.2015	Росія	Москва	Перекрыття	2	0	Житлова багатоповерхов а	Обвал міжповерхових перекрыттів новобудови в центрі міста	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2016	09.05.2016	Ізраїль	Тель-Авів	Вся будівля	20	2	Житлова багатоповерхов а	Зруйнована будівля під час будівництва	
2016	09.05.2016	Росія	Урал	Перекриття	1	0	Житлова багатоповерхов а	Обвал перекриття недобудованого житлового будинку	
2017	13.11.2017	Росія	Саранськ	Перекриття	3	2	Житлова багатоповерхов а	Руйнування недобудованого об'єкта	
2017	19.11.2017	Україна	Київ	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування будівлі в процесі будівництва. Обвалилася конструкція перекриття.	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2018	12.01.2018	Україна	Вишневе	Покриття	0	0	Спортивний зал	Руйнування даху спортивного зала під сніговим навантаженням	Розкрадання коштів, економія на матеріалах
2019	01.01.2019	Росія	Магнітогорськ	Вся будівля	0	7	10 поверхова	Обвал під'їзду в десятиповерховому житловому будинку	Вибух газу
2019	28.08.2019	Україна	Дрогобичі	Стіна	0	8	4 поверхова	Руйнування під'їзду чотириповерхової житлової будівлі	Просідання та руйнування опорної стіни в підвалі
2019	13.12.2019	Німеччина	Брагдебург	Вся будівля	25	1	5 поверхова	Вибух в п'ятиповерховому житловому будинку	Вибух

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2019	26.12.2019	Росія	Іркутськ	Вся будівля	2	1	Аварійна будівля	Демонтаж аварійної будівлі	Порушення техніки безпеки
2020	13.01.2020	Росія	Анапа	Вся будівля	0	0	РАГС	Руйнування РАГСу у процесі будівництва	
2020	31.01.2020	Росія	Санкт-Петербург	Вся будівля	0	1	Спортивний комплекс	Руйнування при демонтажу спортивного комплексу	
2020	09.07.2020	Індія	Коїмбатор	Вся будівля	6	3	Одноповерхова	Обвалення одноповерхової будівлі	Сильні дощі та вітри
2020	24.08.2020	Індія	Райгад	Вся будівля	0	16	5 поверхова	Обвалення п'ятиповерхової будівлі	
2020	26.08.2020	Північна Корея	Сеул	Вся будівля	0	38	Склад	Займання недобудованого складу.	Використання легкозаймистого пінополіуретану

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2020	28.08.2020	Індія	Амрістар	Покриття	0	3	Житлова багатоповерховою	Обвалення даху багатоповерхової будівлі	Сильні дощі
2020	30.08.2020	Китай	Пекін	Вся будівля	28	29	Одноповерховий ресторан	Руйнування одноповерхового ресторану	
2020	31.08.2020	Індія	Бхопал	Вся будівля	0	0	Одноповерхова	Обвалення старої будівлі	Сильні дощі, повені
2020	21.09.2020	Індія	Махараштра	Вся будівля	25	41	3 поверхова	Обвалення трьохповерхової будівлі	
2020	21.09.2020	Казахстан	Чунджа	Покриття	0	0	Спортивний комплекс	Обвалення одного з блоків спортивного комплексу, що будується	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2020	06.10.2020	США	Х'юстон	Сходи	0	3	15 поверхова	Обвалення сходів у 15-поверховому будинку	Будівля потребувала капітального ремонту.

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2020	13.10.2020	Австралія	Перт	Покриття	2	1	Університет	Обвалення даху на території університету імені Картіна	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2020	25.11.2020	Україна	Горохов	Стіна	0	0	Психоневрологічний інтернат	Обвалення стіни психоневрологічного інтернату Волинської області	Будівля потребувала капітального ремонту.
2020	28.12.2020	Україна	Кривий Ріг	Перекриття	0	2	Двоповерхова не експлуатувалася	Руйнування перекриття між першим поверхом та підвалом двоповерхової неексплуатованої будівлі	Будівля потребувала капітального ремонту.

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	13.01.2021	Україна	Запоріжжя	Покриття	0	0	Завод	Обвалення даху в цеху Запорізького феросплавного заводу	Під вагою снігу
2021	23.01.2021	Україна	Київ	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування будівельних конструкцій на території будівництва у 3-поверховій будівлі	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	04.02.2021	Росія	Астрахань	Покриття	0	2	Ангар	Руйнування покрівлі ангара	Порушення норм охорони праці

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	11.02.2021	Україна	м. Одеса, Україна	Покриття	0	0	Фабрика морозива	Обвалення фасадної стіни та даху старовинної будівлі колишньої фабрики морозива Полярна зірка	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	14.02.2021	Росія	Москва	Покриття	0	1	Ангар	Руйнування покрівлі ангару	Покрівля не витримала снігового навантаження
2021	18.02.2021	Україна	Львів	Покриття	0	0	Рампа	Руйнування металопро-фільного навісу над рампою	Під вагою снігу
2021	20.02.2021	Росія	Норільськ	Вся будівля	0	3	Дробильний цех	Обвал трьох галерей дробильного цеху	Помилки проектування, неправильний хід будівельних робіт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	01.03.2021	Україна	Одеса	Вся будівля	0	0	Будинок церкви	Обвалення прибуткового будинку Стрітенської церкви 1879 побудови	Будівля потребувала капітального ремонту.
2021	06.03.2021	Росія	Вороніж	Перекриття	0	2	Житлова багатоповерхов а	Обвал бетонних перекриттів недобудованої будівні	Недобудована споруда
2021	18.03.2021	Польща	Рибник	Перекриття	0	0	Старовинний будинок	Обвалилися три поверхи старовинного відреставрованого будинку	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	27.03.2021	Єгипет	Каїр	Вся будівля	23	3	10 поверхова	Обвалення 10-поверхової будівлі	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	16.04.2021	Росія	Приморський край	Стіна	0	0	Школа	Обвалення стіни школи	Просідання колони будівлі

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	18.04.2021	Росія	Москва	Фасад	0	0	Банк	Обвалення фасаду банку	
2021	19.04.2021	Росія	Тамбов	Покриття	3	0	ТЕС	Обвалення стіни та покриття будівлі ТЕС	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	27.04.2021	Росія	Калуга	Фасад	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення фасаду житлової будівлі	Реконструкція проводилася у 2015 році
2021	26.05.2021	Росія	Алтайський край	Перекриття	0	0	Житлова багатоповерхов а	Обвалення плин перекриття	Некоректні будівельні роботи
2021	07.06.2021	Україна	Одеса	Перекриття	0	1	Житлова багатоповерхов а	Обвал міжповерхового перекриття	
2021	19.06.2021	Китай	Хунань	Вся будівля	7	5	Житлова багатоповерхов а	Руйнування житлової будівлі	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	24.06.2021	США	Маямі	Стіна	0	2	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхов ого, багатоквартирн ого дому	На даху велися будівельні роботи
2021	28.06.2021	Україна	Одеса	Перекри-ття	0	0	Завод	Часткове руйнування перекриття другого поверху колишнього заводу замкових виробів на площі 20 кв. м.	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	01.07.2021	США	Вашингтон	Вся будівля	1	1	Житлова багатоповерхов а	Повне руйнування будинку	Сильна гроза
2021	04.07.2021	Росія	Барнаул	Стіна	0	0	Житлова багатоповерхов а	Руйнування частини стіни двоповерхового житлового будинку	Халатність, у 2013 році признаний аварійним

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	14.07.2021	Китай	Сучжоу	Вся будівля	5	17	Готель	Обвалення триповерхового 54-кімнатного готелю Siji Kaiyuan	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	17.07.2021	Китай	Фуцзянь	Вся будівля	23	17	Готель	Руйнування готелю Four Seasons Kaiyuan	Аварія під час будівництва
2021	18.07.2021	Україна	Дрогобичі	Вся будівля	0	0	4 поверхова	Обвалився другий під'їзд аварійного 4-х поверхового будинку, який частково обвалився ще у 2019 році	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	18.07.2021	Бельгія	Антверпен	Вся будівля	8	6	Школа	Обвалення будинку початкової школи	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	19.07.2021	Україна	Львів	Стіна	0	1	Не житловий	Обвалення стіни нежитлого дому	Будинок був визнаний аварійним. Мешканці були виселені.
2021	20.07.2021	Росія	Татарстан	Покриття	0	0	Житлова багатоповерхового	Обвал двох покрівель будівлі	Від сильного вітру, 22 м/с
2021	06.08.2021	Росія	Челябінськ	Стіна	0	0	Житлова багатоповерхового	Обвалення стіни будівлі	
2021	10.08.2021	Україна	Симферопіль	Вся будівля	0	0	Історична будівля	Обвалення історичної будівлі у якій проводилася реконструкція	Робітники пошкодили несучу стіну
2021	25.08.2021	Іспанія	Валенсія	Вся будівля	0	3	Житлова багатоповерхового	Обвалення триповерхового житлового будинку	Сильні дощі, повені

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	09.09.2021	Єгипет	Каїр	Вся будівля	0	5	Житлова багатоповерхов а	Обвалення житлового будинку	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	06.10.2021	Індія	Мумбаї	Вся будівля	0	11	Житлова багатоповерхов а		Внаслідок сильних дощів
2021	09.10.2021	Грузія	Батумі	Вся будівля	0	6	Житлова багатоповерхов а	Обвалення будинку при проведенні ремонтних робіт на першому поверсі	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	11.10.2021	Японія	Хиого	Перекриття	6	0	Розважальна споруда	Обвалення підлоги на одному з поверхів п'ятиповерхової будівлі з лабіринтом	Перекриття впало через балку, що підтримувала підлогу.

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	05.11.2021	Нігерія	Лагос	Вся будівля	0	43	21 поверхова	Обвалення 21-поверхової будівлі	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	09.11.2021	Турція	Малатья	Вся будівля	21	4	Житлова багатоповерхового а	Обвалення багатоповерхового, багатоквартирного дому	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	05.12.2021	Росія	Санкт-Петербург	Фасад	0	0	Культурна пам'ятка	Обвалення фасаду будівлі	Будівля є культурною пам'яткою
2021	06.12.2021	Єгипет	Бени-Суэф	Стіна	9	3	Житлова багатоповерхового а	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхового, багатоквартирного дому	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2021	07.12.2021	Росія	Санкт-Петербург	Перекриття	4	0	Столова	Пробита стеля прибудованої столової	будівельний візок впав з будівлі бізнес-центру

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2021	07.12.2021	Франція	Санарисюр-Мер	Стіна	3	5	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхового, багатоквартирного дому	Вибух газу
2021	16.12.2021	Україна	Одеса	Перекриття	1	0	Училище	Обвалення перекриття у будівлі Одеського вищого професійного училища морського туристичного сервісу	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2022	04.01.2022	Україна	Харків	Вся будівля	0	0	4 поверхова офісна	Обвалення чотириповерхової офісної будівлі	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2022	11.01.2022	Південна Корея	Кванчжу	Стіна	0	6	Житлова багатоповерхов а	Обвалення частини зовнішніх стін багатоповерхового, багатоквартирного дому	Незаконність будівництва, халатність, недотримання норм
2013	2013	Ньягатар е	Rwanda	Вся будівля	30	6	4 поверхова	4-х поверхова будівля обвалилася, після розширення кімнат на першому поверсі	Inadequate foundations
2016	April, 2016	Уганда		Вся будівля	0	0	6 поверхова	6-поверхова будівля	Заміна бетону на максимально дешевий
2004	2004	Уганда	Uganda	Вся будівля	0	11	5 поверхова	5-пвоерхова будівля	Неправильно використали пропорції змішування бетона
2016	Березень,				0	34			

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
	2016								
2018	17.08.2018	Росія	Муравлен-ко	Резервуар	0	0	Резервуар	Обвалення резервуару на каналізаційно-виробничій станції	
2018	30.10.2018	Росія	Югра	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа на нафтопереробній станції, загорівся резервуар з нафтопродукта ми	
2006	28.08.2006	Індія		Резервуар	30	47	Резервуар	Обвалився резервуар з водою, загинуло 47 людей, ще 30 отримали травми.	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2008	12.11.2008	США	Чесапек, штат Вірджинія	Резервуар	0	0	Резервуар	Руйнування резервуару для зберігання рідких добрив.	
2014	09.05.2014	США	Каліфорнія	Резервуар	0	0	Резервуар	Шість цистерн з нафтою зійшли з рельсів	
2015	17.04.2015	США	Колорадо	Резервуар	0	0	Резервуар	Загорілися внутрішні пари резервуару для зберігання стічних вод, після чого загорілися й інші резервуари	
2017	08.05.2017	США	Колорадо	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа в резервуарі для розриву свердловини	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2017	25.05.2017	США	Північне Колорадо	Резервуар	0	0	Резервуар	Вибух нафтового резервуару	
2018	19.06.2018	США	Колорадо	Резервуар	0	0	Резервуар	Вибух, в результаті якого пошкоджені, або зруйновані до шести нафтових резервуарів у сховищі поблизу Гудзона, Графство Уелд	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2001	17.07.2001	США	Делавер	Резервуар	8	1	Резервуар	На заводі Motiva Enterprises відбувся вибух резервуару. Одна людина загинула, восьмеро постраждали. Значний об'єм сірчаної кислоти був випущений у навколишнє середовище	
2018	26.06.2018	США	Канзас	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа в нафтовому резервуарі	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2009	31.10.2009	США	Місісіпі	Резервуар	0	2	Резервуар	Вибух резервуару, який знаходився на галявині у лісі неподалеку від одного із будинків для підлітків в Карнесі. Загинуло два підлітка	
2016	11.07.2016	США	Нью-Мехіко	Резервуар	0	0	Резервуар	Вибух, у результаті якого загорілося 36 нафтових резервуари	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2018	18.08.2018	США	Південня Дакота	Резервуар	0	0	Резервуар	Декілька нафтових резервуарів загорілися на ділянці Уайтинг Петролеум возле Уотфорд Сити	
2017	17.10.2017	США	Техас	Резервуар	0	0	Резервуар	Вибух резервуару для зберігання нафти на нафтовому родовищі біля Ділі. Дві людини постраждали	
2017	27.12.2017	США	Техас	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа у нафтовому резервуарі у графстві Черокі	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2018	03.01.2018	США	Техас	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа у нафтовому резервуарі в окрузі Медісон	
2018	28.08.2018	США	Техас	Резервуар	0	0	Резервуар	Пожежа в резервуарі для збереження сирої нафти на всьому американському трубопроводі до сході від Учіто-Фолс	
2018	16.03.2018	США	Вайомінг	Резервуар	0	0	Резервуар	Декілька резервуарів для зберігання нафти були втягнуті в пожежу в північному окрузі	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
								Кемпбелл	
2018	28.09.2018	Італія	Венето	Резервуар	0	0	Резервуар	Через несправність резервуару на виноробному підприємстві витекло 30 тисяч літрів просекко	
2017	28.08.2017	Україна	Біла Церква	Резервуар	0	0	Резервуар	Розгерметизація одного з резервуарів, в результаті НП витекла приблизно тонна сірчаної кислоти	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2017	16.02.2017	Германія	Оберхаузе н	Резервуар	150	0	Резервуар	Сірчана кислота пролилася із резервуару на території однієї із компаній із виробництва хімречовин. Постраждало 150 людей	
2010	26.12.2010	Росія		Резервуар	0	0	Резервуар	Під час зливання мазуту в підземний резервуар відбувся вибух із руйнуванням ємності	
2010	24.09.2010	Росія		Резервуар	0	0	Резервуар	Загорівся «мертвий» залишок нафтопродукту	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2010	23.04.2010	Росія	Тамурів-ський район	Резервуар	0	0	Резервуар	Загорівся резервуар під час проведення зварювальних робіт	
2010	28.03.2010	Росія		Резервуар	0	0	Резервуар	Вибух резервуару	
2009	03.09.2009	Росія	Іркутська область	Резервуар	0	0	Резервуар	В цеху відбілювання целюлозного виробництва вибухнула пилогазоповітряних суміш в резервуарі соляної кислоти	
2020	25.08.2020	Індія	Махад	Вся будівля	60	12	5 поверхова	Погана якість будівництва із фактором сильних повіней	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2020	01.07.2020	Індія	Мумбаї	Вся будівля	3	13	9 поверхова	Погана якість будівництва із фактором сильних повіней	
2010	15.11.2010	Індія	Нью-Делі	Вся будівля	73	67	7 поверхова	Побудована на два поверхи вище проекту, після повені виникли проблеми	
2013	27.09.2013	Індія	Мумбаї	Вся будівля	32	61	5 поверхова	Побудова підвального поверху без дозволу	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2014	28.06.2014	Індія	Chennai	Вся будівля	0	61	11 поверхів	Після проливної дощу блискавка вдарила у відкриту арматуру будівлі, в результаті чого зруйнувалися колони	
2019	19.03.2019	Індія	Дхарвад	Вся будівля	50	19	Багатоповерхова офісна будівля		
2011	22 011	Китай	Jiangxi	Вся будівля	0	0	Ламповий завод		
2019	28.08.2019	Росія	Новосибірськ	Стіна, перекриття	3	1	Адміністративна будівля	Руйнування стіни та перекриттів	Порушення правил безпеки при веденні будівельних робіт
2020	11.09.2020	Росія	Республіка Башкірія	Перекриття	0	0	Школа	Обвалення стелі	Несвоєчасний ремонт

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2017	08.09.2017	Росія	Балаших	Стіна	7	0	Кінотеатр	Обвалення стіни минулого кінотеатру	Не проведення своєчасних ремонтних робіт
2017	08.08.2017	Росія	Тверь	Стіна, перекри-ття	0	0	Театр	Південне перекриття та стіна круглої секції будівлі обвалилися	
2020	21.09.2020	Росія	Алматинсь-ка область	Покриття	0	0	Спорткомплекс	Обвалення даху споркомплексу	
2016	07.01.2016	Україна	Полтава	Вся будівля	0	0	Спорткомплекс	Прогресуюче руйнування	Снігові навантаження
2010	02.02.2010	Україна	Полтава	Вся будівля	0	0	Спорткомплекс	Прогресуюче руйнування	Снігові навантаження, використання неякісної сталі
2013	26.01.2013	Південна Осетія	Багіат	Вся будівля	0	0	Ангар	Прогресуюче руйнування	Руйнування під натиском снігу, помилки при проектуванні

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2011	17.01.2011	Росія	Прибал-тика	Вся будівля	0	0	Ангар	Прогресуюче руйнування	Руйнування ангара для зберігання автохламу від снігових навантажень
2010	02.02.2010	Росія	Ліпецк	Вся будівля	0	0	Ангар	Прогресуюче руйнування	Руйнування ангара від снігових навантажень
2011	17.01.2011	Росія	Вороніж-ська область	Вся будівля	0	0	Ангар	гофрооболонка безкаркасного аркового ангара прольотом 21м	Основною причиною виникнення аварійної ситуації стала невідповідність механічних характеристик стали заявленим у сертифікаті. Межа плинності випробуваних зразків становить 225МПа, заявлений у сертифікаті 330МПа.
2012	13.02.2012	Велика Британія	Лондон	Вся будівля	0	0	5 поверхова будівля	Прогресуюче руйнування	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конструкція зруйнувалася	Скільки людей поранено	Скільки людей загинуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2015	02.09.2015	США	Douglas Pike	Вся будівля	6	0	Тренувальний комплекс	Прогресуюче руйнування	
2011	08.11.2011	США	Нью-Йорк	Вся будівля	4	1	5 поверхова будівля	Прогресуюче руйнування	
2012	10.09.2015	США	Нью-Йорк	Вся будівля	1	1	4 поверхова будівля	Прогресуюче руйнування	
2014	26.01.2014	Росія	Смоленськ	Вся будівля	0	0	Ангар	Прогресуюче руйнування	Снігові навантаження
2019	12.10.2019	США	Новий Орлеан	Вся будівля	0	3	Багатоповерховий готель змішаного каркасу	Прогресуюче руйнування	Балки перекриття на 16 поверсі були не досить міцними, а колони на 17-му та 18-му поверхах були розташовані занадто далеко один від одного
2010	24.12.2010	Росія	Брянськ	Вся будівля	0	0	Сільськогосподарська будівля	Прогресуюче руйнування	Верхній пояс, з'єднаний на болтах жорстко стійками, втратив рівновагу
2012	26.04.2012	Росія	Ставрополь	Вся будівля	0	0	Коровник	Прогресуюче руйнування	

Рік	Дата виникнення	Країна	Місто	Яка конст-рукція зруйнува-лася	Скіль-ки людей пора-нено	Скіль-ки людей заги-нуло	Детальний опис		
							Типу будівлі	Типу руйнування	Причин руйнування
2008	02.02.2008	Китай	Jiangxi	Вся будівля	0	0	Цех по ремонту автомобілей	Прогресуюче руйнування	Обвалилася сталева ферма із прольотом 20 м, не було креслень проекту, пройшли аномальні морози
2018	28.03.2018	Росія	Саратов	Вся будівля	0	0	Ангар, майбутній ринок	Прогресуюче руйнування	Дах не витримав снігового навантаження
2021	05.01.2021	Малайзія	Куантан	Вся будівля	0	0	Житловий будинок	Прогресуюче руйнування	Зсуви ґрунту через довготривалі зливи
2022	26.06.2022	Колумбія	Толіма	Трибуна	100	4	Трибуна	Трибуна	
2022	23.05.2022	Іран	Абадан	Вся будівля	39	24	10-ти поверхова житлова		
2014	29.08.2014	Білорусь	Кричів						

ДОДАТОК Б

Схеми розміщення колон, поперечні розрізи будівлі

Схема розміщення залізобетонних колон на відм. +0.000

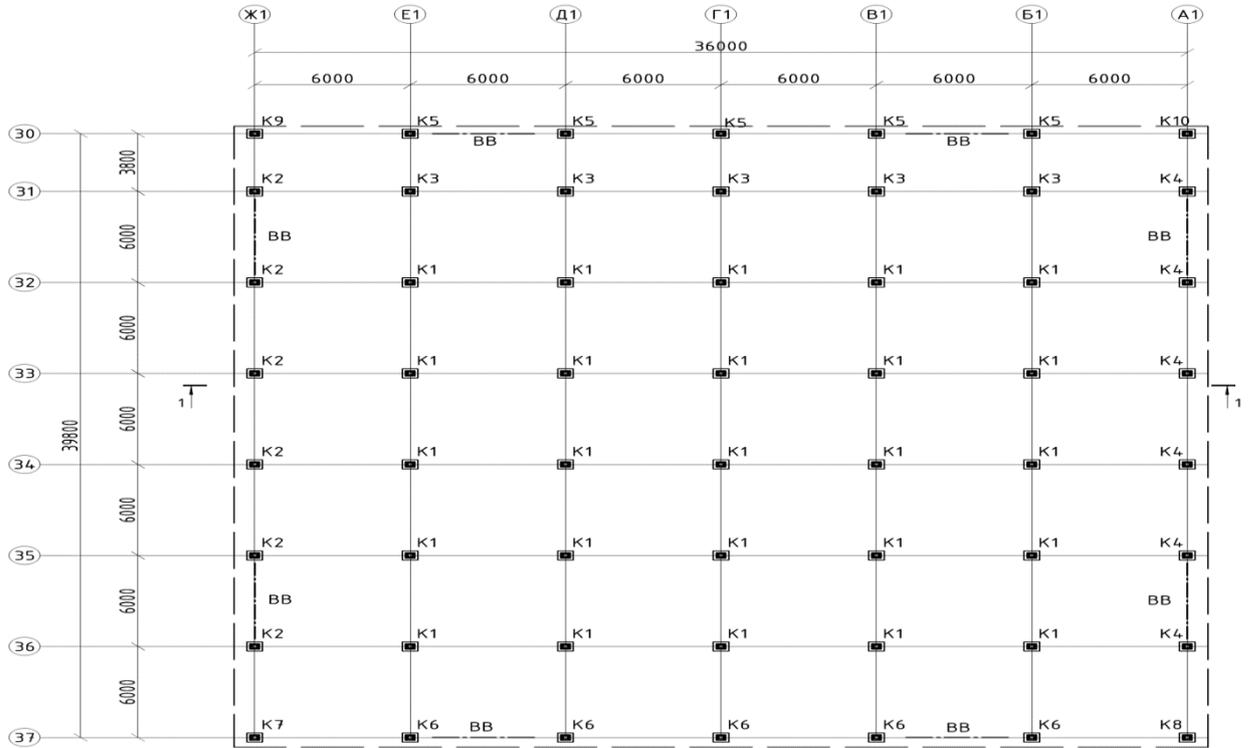
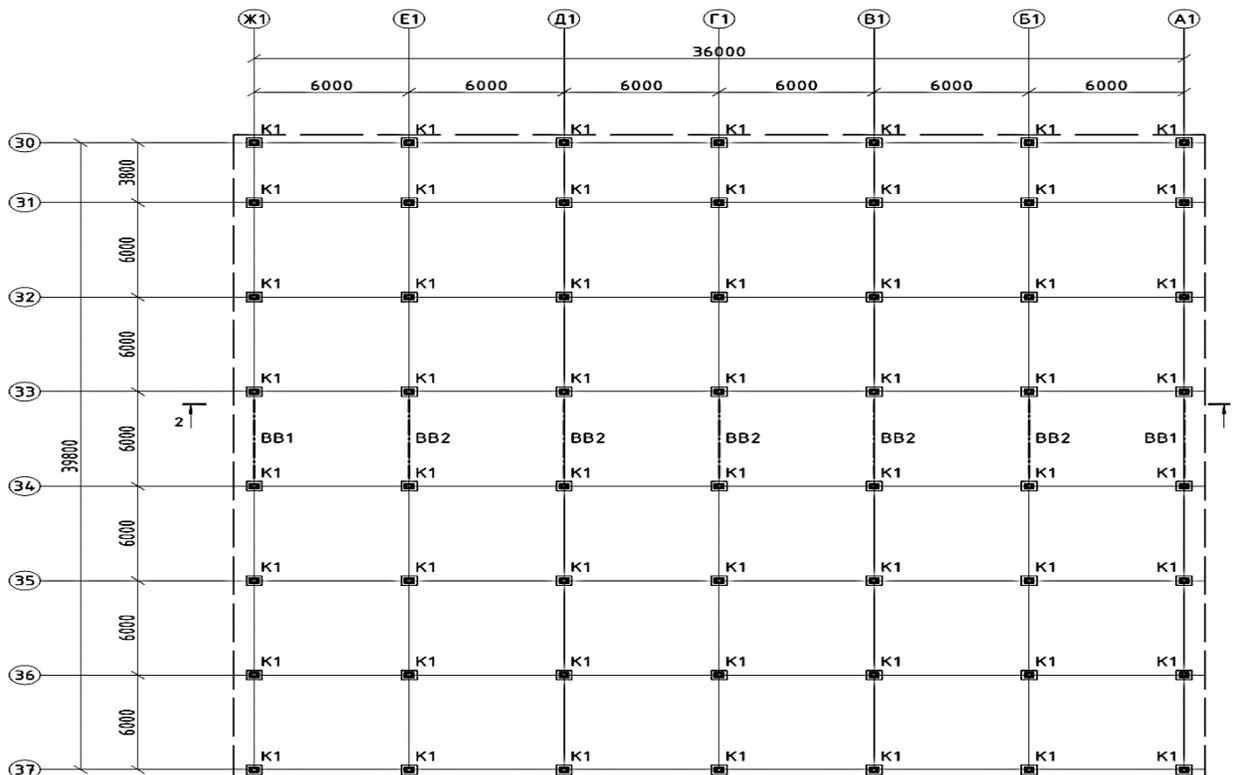
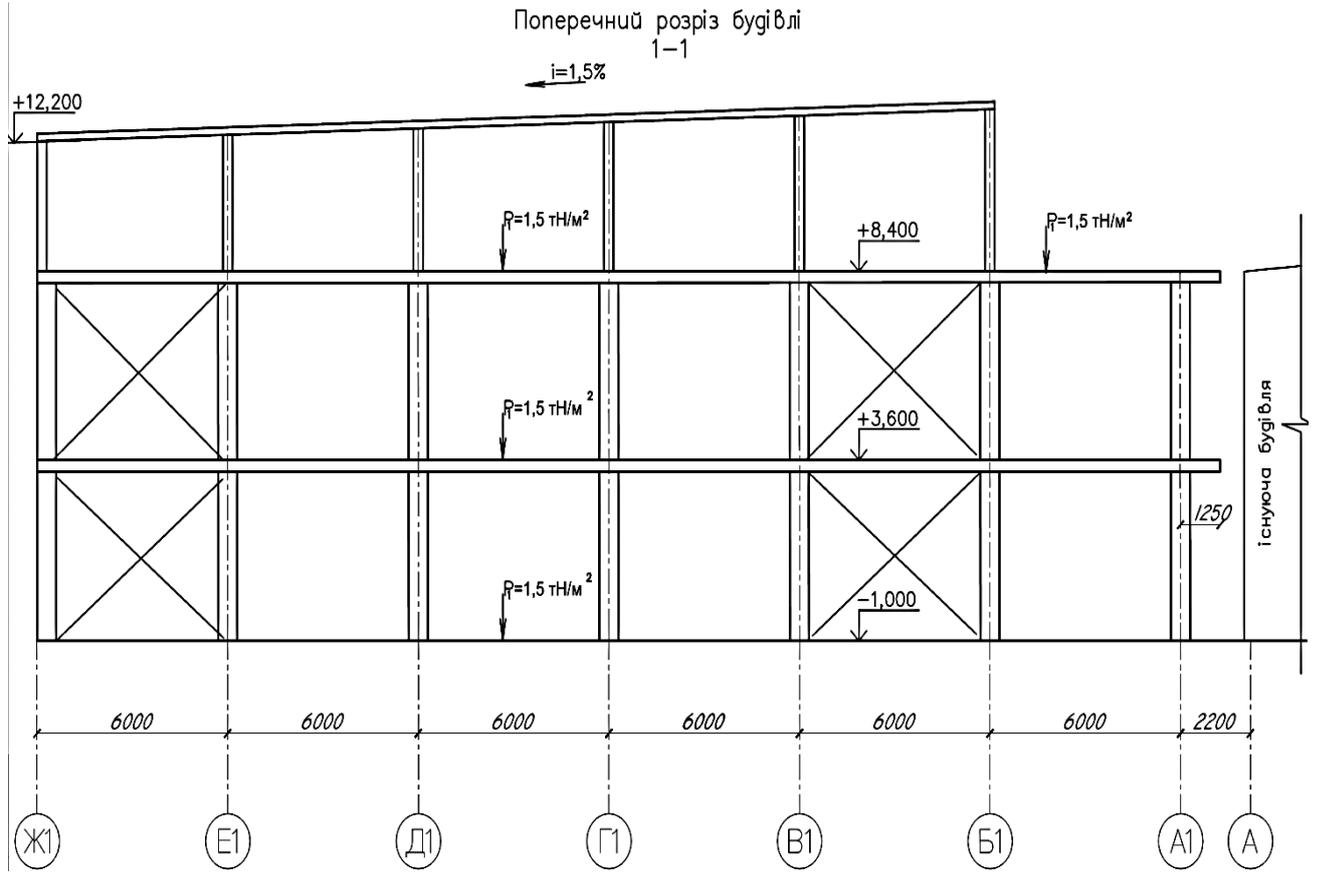


Схема розміщення сталевих колон на відм. +8.400





ДОДАТОК В

Розрахунок економічних та неекономічних наслідки надбудови цивільної будівлі

Вихідні дані та постановка задачі

Дана будівля являється державною ветеринарною лабораторією і є цивільною будівлею. Загальна характеристика будівлі: прямокутна надбудова, в плані розмірами 11,2×27 м. Площа забудови 302,4 м². Конструктивна схема будівлі: одноповерхова, одно пролітна каркасна споруда із каркасом ЛСТК (легкі тонкостінні конструкції). Дана будівля знаходиться в межах населеного пункту.

Кількість робітників, що постійно працюють у цеху $N_1=7$ осіб.

Кількість робітників, що періодично бувають на об'єкті $N_2=5$ осіб.

Кількість осіб, що знаходяться зовні об'єкта, приймається $N_1=13$ осіб.

Враховуючи наведені показники, об'єкт відноситься до класу наслідків СС1.

Розрахунок на економічні втрати цивільної одноповерхової будівлі

Можливі економічні збитки підраховуються, виходячи із сценарію аварії, або іншими словами - прогнозу аварії. Цей прогноз передбачає руйнування конструкції класу відповідальності А, а саме – вихід із ладу ферми покриття (характеристики конструкції див. частина 3 п.3.2.3). Внаслідок аварії може відбутися пошкодження технологічного обладнання і зупинка роботи лабораторії на термін $T_{зуп}=7$ діб. Після виконання необхідних ремонтних робіт функціонування лабораторії відновляється в повному обсязі.

Збитки від руйнування та пошкодження основних фондів виробничого призначення розраховується за формулою:

$$\Phi = ac \sum_i^n P_i \left(1 - \frac{1}{2} T_{ef} \times K_{a,i} \right) \quad (1.12)$$

де $a=0,5$ коефіцієнт, що враховує прогноз відмови, згідно з яким може зруйнуватися один температурний блок половина будівлі;

$c=0,45$ коефіцієнт, що враховує відносну долю основних фондів, що повністю втрачаються при відмові;

$P_i=1$ млн. грн. кошторисна вартість проекту-аналога;

$T_{ef}=50$ років встановлений термін експлуатації для цивільних будівель із

використанням легких профільованих конструкцій;

$K_{a,i} = 0,01$ коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$n = 1$ кількість основних фондів.

Таким чином

$$\Phi = 0,5 \cdot 0,45 \cdot 1000 \cdot (1 - 0,5 \cdot 50 \cdot 0,01) = 168,75 \text{ тис. грн.} = \frac{168,75}{6,5} \\ = 25,96 \text{ м. р. з. п.}$$

Так як дана установа не є промисловою будівлею, відповідно до чого аварія не призведе до збитків від виготовленої продукції, то загальні збитки від відмови споруди визначаються як:

$$M_p = \Phi + P_p = 25,96 + 0 = 25,96 \text{ м. р. з. п.}$$

Враховуючи розміри економічних збитків будівля відноситься до класу наслідків СС1 [3].

Розрахунок на неекономічні втрати цивільної будівлі

Розглядаючи вірогідність відмови конструкції покриття одного із неекономічної точки зору, враховуються різноманітні соціальні фактори. Таким чином розрахунок проводиться за формулою (3.3) [28]:

$$Q = \frac{10^{-4} \zeta_s T}{L} \quad (1.13)$$

де $\zeta_s = 0,05$ коефіцієнт соціальної значимості для цивільних будівель;

$T = 60$ років розрахунковий термін служби споруди в роках;

$L = N1 + N2 + N3 = 7 + 5 + 13 = 25$ осіб середнє число людей, що знаходяться всередині споруди або в безпосередній близькості до неї протягом тривалого періоду, за який оцінюється ризик.

Таким чином

$$Q = \frac{10^{-4} \zeta_s T}{L} = \frac{10^{-4} \cdot 0,05 \cdot 50}{25} = 0,01 \cdot 10^{-4}$$

Облік неекономічної відповідальності проводиться в порівняльній формі, для виведення залежності якої вводяться наступні позначення:

$F_n=302,4 \text{ м}^2$ площа приміщення;

$F_k=26,88 \text{ м}^2$ площа ураження при відмові конструкції;

$F_{\min}=0,2 \text{ м}^2/\text{люд}$ мінімальний розмір нормованої площі, яка приходить на одну людину;

$M=7$ осіб кількість людей, які знаходяться в приміщенні 24 год на добу.

Імовірність події, що в момент відмови конструкції на площі ураження буде знаходитися одна людина, буде дорівнювати:

$$B = \frac{24}{24} Q = 0,01 \cdot 10^{-4}$$

Середні систематичні неекономічні втрати від відмови конструкції визначаються за формулою:

$$\overline{\Pi}_{\text{сист}} = M \cdot \frac{F_k}{F_n} \cdot B = \overline{N} \cdot Q$$

$$\overline{\Pi}_{\text{сист}} = 7 \cdot \frac{26,88}{302,4} \cdot 0,01 \cdot 10^{-4} = 0,0062 \cdot 10^{-4};$$

$$\overline{N} = \frac{\overline{\Pi}_{\text{сист}}}{Q} = \frac{0,0062 \cdot 10^{-4}}{0,01 \cdot 10^{-4}} = 0,62 \approx 1 \text{ осіб} \text{ середньо імовірнісна кількість осіб}$$

на площі ураження.

На ураженій площі крім \overline{N} осіб можуть випадково та тимчасово знаходитися L чоловік. Їх кількість визначається за допомогою величини F_{\min} таким чином:

$$L = \frac{F_k}{F_{\min}} - \overline{N} = \frac{26,88}{0,2} - 1 = 135 \text{ осіб}$$

Кількість людей, що випадково знаходяться на площі ураження при відмові конструкції, не може бути більшою ніж $M - \overline{N}$. Тому:

$$L = 7 - 1 = 6 \text{ осіб}$$

Середньо ймовірнісне значення випадкових втрат можна виразити, використавши теорему про повторення дослідів:

$$\overline{\Pi}_{\text{сл}} = Q \cdot \sum_{i=1}^L i \cdot p_i = Q \cdot L \quad (1.14)$$

де i кількість випадково потрапивши на площу ураження людей;

$p_i = C_L^i \cdot p^i \cdot (1-p)^{L-i}$ імовірність потрапляння на ту ж площу i людей;

$C_L^i = \frac{L \cdot (L-1) \cdot (L-2) \cdot \dots \cdot (L-i+1)}{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot i}$ кількість поєднань з L по i ;

$p = \frac{t_1}{24}$ імовірність випадкового попадання людини на уражену площу за часом.

$$\overline{P}_{сл} = Q \cdot L = 0,01 \cdot 10^{-4} \cdot 6 = 0,06 \cdot 10^{-4}$$

Повні середньо ймовірнісні неекономічні втрати отримуються:

$$\overline{P} = \overline{P}_{сист} + \overline{P}_{сл} = (\overline{N} + \overline{L}) \cdot Q = 0,0062 \cdot 10^{-4} + 0,06 \cdot 10^{-4} = 0,0662 \cdot 10^{-4}$$

Результатом проведених розрахунків є визначення економічних та неекономічних наслідків можливого сценарію відмови конструкції покриття в будівлі державної ветеринарної лабораторії запроектованої із ЛСТК.

ДОДАТОК Г

Список опублікованих наукових праць здобувача за темою дисертації

Публікації у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз

1. Pichugin S.F., Klochko L.A. Forecasting the possible accident scenario on the example of Self-framing metal buildings In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 3rd International Conference on Building Innovations. ICBI 2020. Lecture Notes in Civil Engineering. 2022. P. 331–342. DOI:[10.1007/978-3-030-85043-2_31](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85043-2_31) (SCOPUS, закордоне видання). (Особистий внесок – У ході реалізації створеного алгоритму моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об’єкті, а саме, промислової будівлі, було виконано 9 сценаріїв руйнування конструкцій із різних причин).

2. Pichugin S.F., Klochko L.A. Building Accident Causes at a Stage of Construction and Acceptance in Operation. International Journal of Engineering & Technology. Vol 7. No 3.2. 2018. P. 311–315. DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.14426](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14426). (SCOPUS, закордоне видання). (Особистий внесок – проведена класифікація аварій за типом будівлі, за причиною аварії та за стадією роботи конструкції. Зібрано інформацію щодо аварій будівель та споруд на етапі будівництва та введення в експлуатацію, в обсязі 106 інцидентів. Приклади аварій здебільшого призвели до значних економічних втрат та десятків загиблих та поранених).

3. Pichugin S.F., Klochko L.A. Accidents analysis of steel vertical tanks. In: Onyshchenko V., Mammadova G., Sivitska S., Gasimov A. (eds) Proceedings of the 2nd International Conference on Building Innovations. ICBI 2019. Lecture Notes in Civil Engineering. vol 73. Springer, Cham. P. 193-204. doi.org/10.1007/978-3-030-42939-3_21. (SCOPUS, закордоне видання). (Особистий внесок – проведена класифікація аварій за типом будівлі, за причиною аварії та за стадією роботи конструкції. Зібрано інформацію щодо аварій будівель та споруд на етапі будівництва та введення в експлуатацію, в обсязі 106 інцидентів. Приклади аварій здебільшого призвели до значних економічних втрат та десятків загиблих та поранених).

Публікації у наукових фахових виданнях України

4. Pichugin S.F., Klochko L.A. Особливості аварій у будівництві. Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2019. Полтава: ПНТУ. Т. 1 (52). С. 91-101. doi:<https://doi.org/10.26906/znp.2019.52.1681>. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – проведено аналіз існуючої статистики в будівництві).

5. Pichugin S.F., Klochko L.A., Dmytrenko A.O., Dmytrenko T.A. Algorithm for modeling possible failures at the construction site. Academic journal. Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2021. 2(57). С. 14-19. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – розроблено алгоритм моделювання можливого виникнення аварії будівлі для використання інженерами-проектувальниками на етапі проектної документації). <https://doi.org/10.26906/znp.2021.57.2578>.

6. Pichugin S.F., Klochko L.A. Structural system collapse risk limitation strategy (Стратегія обмеження ризику обвалення конструктивної системи). Academic journal Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. 2020. Полтава: НУШП. Т. 1 (54). С. 19-25. <https://doi.org/10.26906/znp.2020.54.2265>. (Фахове видання, Index Copernicus). (Особистий внесок – Визначені основні етапи проведення алгоритму моделювання можливого виникнення аварії будівлі, які включають в себе: визначення типу будівлі, визначення послідовності моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті, аналіз та висновки по деформованій моделі каркасу).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

7. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Аналіз аварій в будівництві. Вісник ОДАБА. 2016. Одеса. С. 331-338.

8. Патент Вузол з'єднання монолітного залізобетонного безбалкового перекриття з трубобетонною колоною. Пат. 98330. № у 2014 11959; заявл. 05.11.14. опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8. 4 с.

9. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Причини аварій будівель на етапі зведення та прийняття в експлуатацію. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження,

проектування, будівництво, експлуатація. Зб. наук. статей. 2016. Вип. 12. Полтава: ПолтНТУ. С. 194-203.

10. Pichugin S.F., Klochko L.A. Modern problems of reliability in construction: manual for students of specialty 192 "Construction and civil engineering". 2021. Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic". 147 p.

11. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Повчальний досвід аварій будівель. Тези доповідей 67-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. 2015. Том 2. Полтава: ПолтНТУ. С. 171-172.

12. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Характеристика аварій в будівництві. Матеріали всеукраїнської інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування територій». 2015. Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка. С. 256-260.

13. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Економічні й неекономічні наслідки аварій будівельних об'єктів. Тези доповідей 68-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. 2016. Полтава: ПолтНТУ. С. 196-197.

14. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Аналіз аварій будівельних об'єктів. Тези доповідей 69-ї наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. 2017. Полтава: ПолтНТУ. С. 232-234.

15. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту. Збірник наукових праць X Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки», 6 – 8 грудня 2017 р. Полтава: ПолтНТУ. С. 315-322.

16. Пічугін С.Ф., Дмитренко Л.А. The reasons of buildings accidents at a stage of construction and acceptance in operation. Збірник наукових праць за матеріалами I міжнародної азербайджансько-української конференції «Building innovations –

2018» 2018. Полтава: ПолтНТУ. С. 86-88.
<http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PolNTU/4614>.

17. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Визначення економічних та неекономічних наслідків аварії будівельного об'єкту. II Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі». 2018. Київ. С. 96-99 <http://reposit.pntu.edu.ua/handle/PolNTU/4613>.

18. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Особливості аварій в будівництві. Сталезалізобетонні конструкції: дослідження, проектування, будівництво, експлуатація: зб. тез. 2018. Полтава: ПолтНТУ. Вип. 13. С. 27-30.

19. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Питання прогресуючого руйнування будівель і споруд. Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки : зб. наук. пр. за матеріалами XI Міжнар. наук.-практ. конф. 20 – 21 груд. 2018 р. Полтава: ПолтНТУ. С. 213–216.

20. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Передумови створення статистики аварій будівельних об'єктів. Тези 71-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 22 квітня – 17 травня 2019 р.). Полтава: ПолтНТУ. Т. 1. С. 404-405.

21. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Причини та наслідки аварій сталевих вертикальних резервуарів. Building Innovations – 2019: зб. наук. пр. за матеріалами II Міжнар. укр.-азерб. конф., 23 – 24 трав. 2019 р. Полтава: ПолтНТУ. С. 174-175.

22. Pichugin S.F., Klochko L.A. Accidents analysis of steel vertical tanks. Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі : тези доп. III Міжнар наук.-практ. конф., 24-25 верес. 2019 р. К. : КНУБА. С. 90-93.

23. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів. Тези 72-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 15 травня 2020 р.). Полтава : НУПП. Т. 1. С. 489-491.

24. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Статистическая обработка классификации аварий в строительстве за этапом эксплуатации строительного объекта. The IV th International scientific and practical conference «Integration of scientific bases into practice» (October 12-16, 2020). Stockholm, Sweden. P. 27-29.

25. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Оцінювання збитків від відмов будівельних об'єктів. Building innovations – 2020 : зб. наук. пр. за матеріалами III Міжнар. Азерб.-укр. Наук.-практ. конф. (1 – 2 черв. 2020 р.). Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка. С. 159–160.

26. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Класифікація аварій будівельних об'єктів різного призначення. Тези Міжнародної науково-практичної конференція «Тренди та тенденції розвитку будівельної галузі». 2020. Харків. С. 18-19.

27. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Моделювання можливого виникнення аварії будівельного об'єкту. Збірник наукових праць IV Міжнародної українсько-азербайджанської науково-практичної конференції «BUILDING INNOVATIONS – 2021», 20 – 21 травня 2021 року. Полтава: Національного університету «Полтавська політехніка». С. 159-161.

28. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Класифікація аварій будівельних об'єктів, що експлуатуються. Тези 73-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 21 квітня – 13 травня 2021 р.). Полтава : НУПП. Т. 1. С. 134-135.

29. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Статистичний аналіз аварій у будівництві. Тези IV Міжнародної конференції «Експлуатація та реконструкція будівель і споруд». 2021. Одеса. С. 138-140.

30. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Забезпечення надійності сталевих резервуарів – запорука їх екологічної безпеки. Збірник матеріалів II Міжнародної науково-практичної конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження», присвяченої 203-річчю Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (2-3 грудня 2021 року). 2021. Полтава: НУПП, ПП «Астроя». С. 262-263.

31. Pichugin S.F., Klochko L.A. Statistical analysis of accidents in construction. Збірник наукових праць XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Академічна й університетська наука: результати та перспективи». 09 грудня 2021 року. Полтава: Полтавська політехніка. С. 331-333.

32. Пічугін С.Ф., Клочко Л.А. Алгоритм моделювання можливого виникнення аварії як частина проектної документації будівельного об'єкта. Тези 74-ої наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів університету (Полтава, 26 квітня – 19 травня 2022 р.). С. 107-109.

33. Pichugin S.F., Klochko L.A. Algorithm for modeling possible failures at the construction site. Зб. наук. пр. за матеріалами XIV Міжнародної науково-технічної конференції. 2022. Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка. С. 96-98.

ДОДАТОК Д

Довідки про впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи



Б.О. Коробко

08 2022 року

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи
Клочко Ліни Андріївни на тему «Прогнозування імовірних механізмів
руйнування будівель» в учбовому процесі

В учбовому процесі у Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» результати дисертаційної роботи Клочко Л.А. використовуються при читанні навчальних курсів: «Сучасні проблеми надійності в будівництві» та «Методика граничних станів і нормування навантажень» для магістрів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Аспірантка Клочко Л.А. є також співавтором навчального посібника – Pichugin S.F., Klochko L.A. «Modern problems of reliability in construction». Manual. – Poltava: National University «Yuri Kondratyuk Poltava Politechnic», 2021. – 147 p.

Д.т.н., професор, зав. кафедри
будівельних конструкцій

А.М. Павліков

Д.т.н., професор

С.Ф. Пічугін

**ТОВ «ПРОЕКТНЕ БЮРО «ІНТЕРСТАЛЬ»**

36002, Україна, м. Полтава, вул. Кагамлика, 31, корп. 2, к. 20

Кваліфікаційні сертифікати АЕ №006902, АР №018936 АР №012250

Вих. № 27/2022 від 22.08.2022 р.

ДОВІДКАпро впровадження в практику проектування
результатів дисертаційної роботи**Клочко Ліни Андріївни**

на тему:

«Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель»

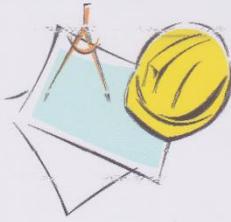
Результати дисертаційної роботи здобувача кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» Клочко Ліни Андріївни на тему «Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель», проваджені в практику проектування та були використані ТОВ «Проектне бюро «ІНТЕРСТАЛЬ» при моделюванні сценарію можливого виникнення аварії на логістичних та торгово-розважальних центрах та інш.

З повагою,

директор ТОВ «ПБ «ІНТЕРСТАЛЬ»

Бібік В.М.





Фізична особа-підприємець
Сопільняк Олександр Володимирович
 36023, м. Полтава, бульвар Боровиковського, 9, кв. 38.
 Р/р UA763077700000026004111120051 у АТ "А-БАНК" м. Полтава
 МФО 307770. Код 2022805312
 Тел.: 050 690 98 75. E-mail: sopilnyak55@gmail.com

ДОВІДКА

про впровадження в практику проектування
 результатів дисертаційної роботи

Клочко Ліни Андріївни

«Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель».

Результати наукових досліджень, одержані Клочко Ліною Андріївною та викладені в її дисертаційній роботі на здобуття наукового ступеню доктора філософії на тему «Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель», впроваджені в практику проектування **ФОП Сопільняк Олександр Володимирович** та використовувались при проектуванні для моделювання сценаріїв можливих аварій будівлі громадського призначення із терміном експлуатації більше 50 років під час реконструкції будівлі **Полтавської обласної філармонії**. У ході роботи було створено об'ємну модель цегляної будівлі, досліджено згідно розробленого алгоритму моделі сценаріїв руйнувань із метою забезпечення надійності та безвідмовності роботи будівлі. Визначені допустимі значення DemandCapacityRatio (DCR) для конструктивних елементів і порівняні з пороговими значеннями для конструктивних елементів. В результаті розрахунку DCR не перевищує значення 2. За даними сценаріями конструкція будівлі не схильна до прогресуючого руйнування.



О.В. Сопільняк

МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»

Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна, 36011
Тел./факс +38 (0532) 56-98-94;
+38 (0532) 60-87-30 (приймальня)
сайт: www.nupp.edu.ua
e-mail: rector@nupp.edu.ua; kanc@nupp.edu.ua
код згідно з ЄДРПОУ 02071100



MINISTRY OF
EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL UNIVERSITY
«YURI KONDRATYUK
POLTAVA POLYTECHNIC»

Pershotravneva Avenue 24, Poltava, 36011, Ukraine
Tel./fax +38 (0532) 56-98-94;
+38 (0532) 60-87-30 (reception)
web: www.nupp.edu.ua
e-mail: rector@nupp.edu.ua; kanc@nupp.edu.ua
USREOU code 02071100



від 23.08 2022р. № 29-10/1381

на № _____ від _____ 20__ р.

ДОВІДКА

про впровадження результатів наукової роботи
на тему «Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель»
здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії
по спеціальності 05.23.01 – Будівельні конструкції, будівлі та споруди
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Клочко Ліни Андріївни

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» повідомляє, що результати наукової роботи «Прогнозування імовірних механізмів руйнування будівель» Клочко Ліни Андріївни було впроваджено при розробці прикладної науково-дослідної роботи: «Енергоефективні конструктивні рішення елементів будівель» Шифр НДР № 103/21 (державний реєстраційний номер 0121U109497). Реалізовано створений алгоритм моделювання можливого виникнення аварії на будівельному об'єкті при аналізі запропонованих конструктивних рішень.

Керівник НДР, завідувач кафедри
будівництва та цивільної інженерії,
професор

В.о. проректора з наукової
та міжнародної роботи
професор



Олександр СЕМКО

Вадім ВАДІМОВ

ДОДАТОК Е

Патент на корисну модель

