

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

*Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису*

БОЖИНСЬКИЙ МИХАЙЛО ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 69.05:69.059.2:624.012.45

ДИСЕРТАЦІЯ

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З
ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ
ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

Спеціальність: 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Галузь знань: 19 – Будівництво та архітектура

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ М.О. Божинський

Наукові керівники: Тугай Олексій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, Ємельянова Олена Миколаївна, кандидат наук з державного управління, доцент

КИЇВ 2026

АНОТАЦІЯ

Божинський М.О. Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель.

– Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія. Галузь знань: 19 – Архітектура та будівництво – Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, 2026.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню організаційно-технологічних рішень, що сприяють зменшенню простою підприємств критичної інфраструктури за рахунок скорочення термінів ліквідації аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель.

Актуальність теми зумовлена зростанням масштабів і складністю ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових об'єктів та об'єктів критичної інфраструктури, спричинених техногенними подіями й впливами, не передбаченими при проєктуванні. Такі руйнування можуть призводити до тривалої зупинки виробничих процесів, порушення функціонування критичної інфраструктури та ускладнень у відновленні виробничих та логістичних зв'язків. Наявні підходи не завжди повною мірою враховують мінливість аварійних ситуацій, ризик вторинних руйнувань, вплив залишкових навантажень і особливості роботи частково пошкоджених конструкцій. Це зумовлює необхідність удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань на основі системного аналізу фактичних умов та обґрунтованого вибору способів виконання робіт з відновлення. Скорочення тривалості протиаварійних і відновлювальних заходів має важливе технічне та соціально-економічне значення, оскільки сприяє якнайшвидшому відновленню експлуатаційної придатності пошкоджених об'єктів критичної інфраструктури.

Мета роботи: підвищення ефективності заходів з усунення наслідків аварійних руйнувань конструкцій, які порушують виробничі процеси, шляхом

вибору найменш часозатратних рішень на основі інформаційно-математичного моделювання та використання баз даних, які містять сценарії типових руйнувань, а також технічні, технологічні й організаційні рішення для ліквідації їх наслідків.

Об'єктом дослідження є процес ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових будівель.

Предмет дослідження – організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових будівель.

Для досягнення поставленої мети у роботі проаналізовано наявні наукові праці щодо ліквідації наслідків аварійних руйнувань, визначено фактори, які впливають на прийняття раціональних організаційно-технологічних рішень, сформульовано низку можливих варіантів їх реалізації, а також удосконалено організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель.

У *першому розділі* подано огляд причин виникнення аварійних руйнувань. Проаналізовано основні фактори, які спричиняють аварійні руйнування, та досвід використання будівельної оснастки та монтажних засобів, що застосовуються для ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Розглянуто основні методи доступу до конструкцій – від традиційних до вузько застосовуваних – та визначені їхні основні переваги й недоліки щодо використання у процесі ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Було проведено огляд й аналіз наукових досліджень та вітчизняних і міжнародних нормативних документів для оцінки ступеня висвітлення цієї проблеми у літературі, щоб визначити основні напрями подальших досліджень.

У *другому розділі* дисертаційної роботи викладено основні методологічні підходи та методи дослідження. Визначено та досліджено фактори та критерії, що впливають на скорочення часу, необхідного для ліквідації наслідків аварійних руйнувань, зокрема, основні три фактори першого порядку, які в свою чергу поділяються на три фактори другого порядку. 45 систематизованих критеріїв розподілено між факторами другого порядку (причому на кожен такий фактор припадає щонайменше три критерії). Досліджено та систематизовано наслідки аварійних ситуацій; до основних належать ті, що безпосередньо впливають на

функціонування підприємств критичної інфраструктури та процеси відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель. Сформовано фундаментальні принципи створення інформаційно-математичної системи, що інтегрує бази даних технічних рішень. Описано основні функції та завдання програмних модулів цієї системи, які необхідно реалізувати для досягнення поставлених цілей. У роботі представлено схему взаємодії програмних модулів, що становлять основну структуру інформаційно-математичної системи оптимізації відновлення пошкоджених конструкцій.

До *третього розділу* дисертаційної роботи увійшло ранжування факторів та критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Визначено та встановлено глобальні рейтинги факторів і критеріїв для оцінювання їхнього впливу на скорочення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань; це дозволяє проводити аналіз тривалості для будь-яких сценаріїв відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель. Як приклад наведено аналіз чотирьох різних методів відновлення, що передбачають залучення різного обладнання для доступу та тимчасового підпирання конструкцій. За результатами дослідження сформульовано ідеалізовану модель об'єкта дослідження з урахуванням даних звітів про технічне обстеження та аналізу розповсюдженості основних типів несучих конструкцій промислових будівель. Розроблено концепцію та методику інформаційного моделювання протиаварійного підсилення. В роботі запропоновано одинадцять етапів моделювання: від моделювання пошкодження конструкції до розрахунку тимчасового підпирання та підсилення пошкодженої конструкції. Запропоновано моделі відновлення пошкоджених конструкцій будівлі з використанням традиційних методів відновлення та з використанням монтажного майданчика, що встановлюється на мостовий кран. Було розроблено чотири моделі, що використовують різні методи відновлення, а також визначено й порівняно час виконання для кожного з обраних методів із застосуванням методу експертного оцінювання.

У *четвертому розділі* представлено структуру програмних модулів «Інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення» (ІМСОП). Наведено

приклад розрахунку багатопролітної залізобетонної аркової ферми з метою вибору протиаварійного підсилення. За результатами розрахунку визначено зусилля у тимчасових підпірках під час підйому пошкодженої конструкції домкратами для різних сценаріїв встановлення підпірок. Наведено приклад практичного застосування монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран, для відновлення конструкцій пошкодженої багатопролітної металевої ферми. Приведені напрацювання щодо створення технічної карти з використання та встановлення монтажного майданчика на конструкції мостових кранів у промислових будівлях.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в удосконаленні науково-методичних засад вибору організаційно-технологічних рішень для відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель.

Вперше:

- систематизовано фактори та критерії скорочення тривалості виконання відновлювальних робіт, запропоновано інструментарій порівняння методів відновлення та розроблено систему вибору принципу відновлення, що забезпечує інформаційну підтримку прийняття організаційно-технологічних рішень з відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель.

Удосконалено:

- метод відновлення пошкоджених багатопролітних конструкцій промислових будівель з застосуванням монтажного майданчика, встановленого на мостовому крані;
- методичне обґрунтування вибору способів відновлення пошкоджених конструкцій на основі оцінювання організаційно-технологічних рішень за критерієм тривалості виконання робіт;
- науково-методичний апарат організації будівництва в частині прийняття організаційно-технологічних рішень шляхом застосування принципів нечіткої логіки для врахування невизначеності вхідних даних.

Набули подальшого розвитку:

- методи оцінювання впливу невизначеності на надійність реалізації прийнятих організаційно-технологічних рішень з відновлення пошкоджених конструкцій;
- підходи до використання наявного обладнання підприємств для відновлення пошкоджених конструкцій підприємств критичної інфраструктури;
- принципи застосування інформаційних технологій під час вибору раціональних способів відновлення пошкоджених конструкцій.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості застосування запропонованих організаційно-технологічних рішень під час ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій каркасів промислових будівель, спричинених впливами, не передбаченими під час проєктування. Обґрунтовано доцільність використання наявного мостового вантажопідйомного обладнання промислових підприємств для виконання протиаварійних і відновлювальних робіт, що дає змогу скоротити тривалість мобілізації технічних ресурсів, зменшити потребу в залученні спеціалізованої техніки та забезпечити виконання робіт з підпирання, демонтажу і відновлення пошкоджених конструкцій із використанням наявної виробничої бази підприємства.

Практична цінність окремих результатів підтверджуються їх упровадженням у діяльність компаній: ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» (довідка № 83/01/03/3 від 02.04.2026 р.) та ТОВ «КДК ІНЖИНІРИНГ» (довідка № 1202/26-07 від 12.02.2026 р.).

Дисертаційне дослідження виконувалось у Київському національному університеті будівництва і архітектури. Тематика роботи органічно пов'язана з науковими планами кафедри організації та управління будівництвом. Робота є невід'ємною частиною виконання комплексної державної науково-дослідної теми «Розробка науково-технічного інструментарію для формування та реалізації внутрішньовиробничих планів діяльності будівельної організації» (державний реєстраційний номер 0124U005196).

Результати дослідження було використано під час виконання дослідження та розробки проєктів двох національних стандартів-настанов щодо технології

демонтажу та знесення будівель і споруд та тимчасового укріплення аварійних об'єктів пошкоджених внаслідок позапроектних впливів (індекс УДК: 69.059, 69:006, державний реєстраційний номер: 0124U003109). Робота виконувалась Державним підприємством "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького" на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (довідка № 71/01-11 від 03.02.2026 р.).

Ключові слова: аварійні руйнування, організаційно-технологічні рішення, ліквідація аварій, підсилення конструкцій, монтажний майданчик, інформаційно-математична система, великопролітна залізобетонна ферма, багатокритеріальні методи прийняття рішень, тимчасове підпирання, відновлення, АНР, PERT, TOPSIS, будівельний об'єкт, технологія, позапроектні впливи, організація будівництва.

ABSTRACT

Bozhynskyi M. **Improvement of organizational and technological solutions for eliminating the consequences of accidental destruction of industrial building structures.** – Qualification scientific work on the rights of the manuscript. The thesis is submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 – Construction and Civil Engineering. Area of knowledge: 19 – Architecture and Construction – Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv, 2026.

The dissertation focuses on improving organizational and technological solutions that help reduce downtime at critical infrastructure enterprises by shortening the time required to repair structural damage caused by accidents in industrial buildings.

The relevance of the research topic is driven by the increasing scale and complexity of remediating the aftermath of accidental structural failures at industrial facilities and critical infrastructure – failures caused by man-made events and impacts not accounted for during the design phase. Such destruction can lead to prolonged suspension of production processes, disruption of critical infrastructure operations, and complications in restoring production and logistics links. Existing approaches do not always fully account for the variability of emergency situations, the risk of secondary collapses, the impact of residual loads, and the behavior of partially damaged structures. This necessitates the improvement of organizational and technological solutions for remediating the consequences of accidental structural failures, based on a systems analysis of actual conditions and a well-founded selection of restoration methods. Reducing the duration of emergency response and restoration measures is of significant technical and socio-economic importance, as it facilitates the rapid restoration of the operational viability of damaged critical infrastructure facilities.

The aim of the work is to enhance the efficiency of measures to remediate the consequences of accidental structural failures that disrupt production processes by selecting the least time-consuming solutions based on information-mathematical modeling and the use of databases containing scenarios of typical failures, as well as technical, technological, and organizational solutions for addressing their aftermath.

The object of the study is the process of remediating the consequences of structural failures in industrial buildings.

The subject of the study is organizational and technological solutions for remediating the consequences of structural failures in industrial buildings.

To achieve the stated objective, the study analyzes existing research on remediating the aftermath of structural failures caused by accidents, identifies factors influencing the selection of rational organizational and technological solutions, formulates a range of implementation options, and improves organizational and technological solutions for addressing the consequences of such failures in industrial building structures.

The first chapter presents an overview of the causes of structural failures. The main factors causing structural failures are analyzed, along with the experience of using construction equipment and assembly tools employed to remediate the consequences of such failures. The main methods of accessing structures – ranging from traditional to specialized ones – are examined, and their key advantages and disadvantages regarding their use in the aftermath of structural failures are identified. A review and analysis of scientific research and domestic and international regulatory documents were conducted to assess the extent to which this issue is covered in the literature and to identify key directions for future research.

The second chapter of the dissertation outlines the main methodological approaches and research methods. The factors and criteria influencing the reduction of time required to remediate the aftermath of structural failures caused by accidents have been identified and investigated – specifically, three primary first-order factors, which in turn are subdivided into three second-order factors. The 45 systematized criteria are distributed among second-order factors (with at least three criteria for each second-order factor). The consequences of structural failures have been investigated and systematized; the primary ones include those that directly affect the functioning of critical infrastructure enterprises and the processes of restoring damaged structures of industrial buildings. The fundamental principles for creating an information-mathematical system that integrates databases of technical solutions have been established. The main functions and tasks of the system's software modules, which must be implemented to achieve the set objectives,

are described. The paper presents a scheme of interaction between the software modules that constitute the core structure of the information-mathematical system for optimizing the restoration of damaged structures.

The third chapter of the dissertation includes a ranking of the factors and criteria influencing the reduction of the time required to remediate the consequences of accidental structural failures. Global rankings of factors and criteria for assessing their impact on reducing the time required to remediate the aftermath of structural failures have been determined and established; this enables duration analysis for any scenario involving the restoration of damaged industrial building structures. An analysis of four different restoration methods is presented as an example, involving the use of various types of equipment for access and temporary structural shoring. Based on the study results, an idealized model of the object of research has been formulated, considering data from technical inspection reports and an analysis of the prevalence of the main types of load-bearing structures in industrial buildings. A concept and methodology for the information modeling of emergency reinforcement have been developed. The paper proposes eleven modeling stages, ranging from modeling structural damage to calculating temporary shoring and the strengthening of the damaged structure. Models are proposed for the restoration of damaged building structures using traditional restoration methods and an assembly platform mounted on an overhead crane. Four models employing different recovery methods were developed, and the execution time for each of the selected methods was determined and compared using the expert assessment method.

The fourth chapter presents the structure of the software modules of the "Information-Mathematical System for Reinforcement Optimization" (IMSRO). An example of the calculation of a multi-span reinforced concrete arch truss is presented for the purpose of selecting emergency reinforcement. Based on the calculation results, the forces acting on the temporary supports during the jacking of the damaged structure were determined for various support installation scenarios. An example is presented of the practical application of a work platform mounted on an overhead crane for the repair of the structures of a damaged multi-span metal truss. The developed materials concern the

creation of a technical procedure for the use and installation of a mounting platform on the structure of overhead traveling cranes in industrial buildings.

The scientific novelty of the obtained results lies in the refinement of the scientific and methodological principles for selecting organizational and technological solutions for the restoration of damaged structures in industrial buildings.

For the first time:

- factors and criteria for reducing the duration of restoration work have been systematized; a toolkit for comparing restoration methods has been proposed and a system for selecting the restoration principles has been developed, providing information support for organizational and technological decision-making regarding the restoration of damaged industrial building structures.

Improvements have been made to:

- the method for restoring damaged multi-span structures of industrial buildings using an installation platform mounted on an overhead crane;
- the methodological basis for selecting restoration methods for damaged structures, grounded in the evaluation of organizational and technological solutions according to the criterion of work duration;
- the scientific and methodological framework for construction organizations regarding the adoption of organizational and technological solutions, utilizing fuzzy logic principles to account for input data uncertainty.

Further development was achieved regarding:

- methods for assessing the impact of uncertainty on the reliability of implementing adopted organizational and technological solutions for the restoration of damaged structures;
- approaches to utilizing existing enterprise equipment for the restoration of damaged structures at critical infrastructure facilities;
- principles for applying information technologies when selecting rational methods for restoring damaged structures.

The practical significance of the obtained results lies in the potential to apply the proposed organizational and technological solutions when remediating the consequences

of structural failures in industrial building frames caused by loads or impacts not accounted for during the design phase. The feasibility of utilizing existing overhead lifting equipment at industrial enterprises for emergency response and restoration work has been substantiated; this approach enables a reduction in the time required to mobilize technical resources and the need to bring in specialized machinery, while facilitating the shoring, dismantling, and restoration of damaged structures by leveraging the enterprise's existing production infrastructure.

The practical value of specific results is confirmed by their implementation in the operations of the following companies: V. M. Shymanovskyi Ukrainian Institute of Steel Construction LLC (reference No. 83/01/03/3 dated April 2, 2026) and KDK Engineering LLC (reference No. 1202/26-07 dated February 12, 2026).

The dissertation research was carried out at the Kyiv National University of Construction and Architecture. The topic of the thesis is integrated to the research plans of the Department of Construction Organization and Management. The work is an integral part of the comprehensive state research project of the Kyiv National University of Construction and Architecture. Specifically, the research findings were obtained within the framework of the research project "Development of scientific and technical tools for the formation and implementation of internal production plans of a construction organization" (state registration number 0124U005196).

The research findings were utilized in the development of two national guidance standards concerning the technology for dismantling and demolishing buildings and structures, as well as the temporary shoring of unsafe structures damaged by beyond-design-basis events (UDC index: 69.059, 69:006; state registration number: 0124U003109). The work was carried out by the «Research Institute of Building Production named after V. S. Balytskyi» (State Enterprise) commissioned by the Ministry for Communities, Territories and Infrastructure Development of Ukraine (reference No. 71/01-11 dated February 3, 2026).

Keywords: structural failures, organizational and technological solutions, emergency response, structural reinforcement, assembly site, information-mathematical system, long-span reinforced concrete truss, multi-criteria decision-making methods,

temporary shoring, restoration, AHP, PERT, TOPSIS, construction site, technology, beyond-design-basis impacts, construction organization.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у періодичних наукових виданнях інших держав,

які входять до ЄС або ОЕСР

1. Bozhynskyi M., Zhelezniak V. Scientific foundations for the coordination of organizational-technological and information-management decisions in the system of implementation and recovery of construction projects. *The scientific heritage (Budapest, Hungary)*. 2026. № 179 (179). Pp. 72-80. (Особистий внесок здобувача: запропонував інтегрувати організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань у рекурентну модель трансформації інформаційно-управлінських рішень). (Збірник входить до наукометричної бази *Index Copernicus International*) DOI: 10.5281/zenodo.18762606

Статті у наукових фахових виданнях України категорії «А»,

індексованому в WoS/Scopus

2. Тугай О.А., Козак А.А., Хохлін Д.О., Божинський М.О. Використання методу скінченних елементів для визначення можливості застосування та удосконалення організаційно-технологічних рішень з локалізації руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures*. 116, 67-79. (Особистий внесок здобувача: розробив сценарії пошкодження та протиаварійного підпирання конструкції багатопролітної залізобетонної ферми, запропонував етапи для проведення розрахунку пошкодженої конструкції багатопролітної залізобетонної ферми). DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.67-79

Статті у наукових фахових виданнях України

3. Григоровський П.Є., Басанський В.О., Григоровський А.П., Божинський М.О. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень ліквідації наслідків понадпроектних впливів у будівництві. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2023. №100. С. 72-79. (Особистий внесок здобувача: створення прогнозно-розрахункової моделі будівлі) DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.72>

4. Хохлін, Д. О., & Божинський, М. О. Організаційно-технологічні рішення для запобігання аварійних руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні, на прикладі залізобетонної ферми. *Будівельне виробництво*. Київ, 2023. №76. С. 43-48 (*Особистий внесок здобувача: автором було зібрано статистичні дані щодо типів великопролітних залізобетонних конструкцій покриття промислових будівель в Україні. На основі узагальнених результатів візуальних обстежень будівель визначено сценарій найбільш імовірного пошкодження конструкцій*) DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.43-48>

5. Божинський М.О. Реалізація модулів інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення з інтеграцією існуючих баз даних для прискорення прийняття організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №78, С. 132-139. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.132-139>

6. Божинський М.О. Оцінювання тривалості сценаріїв ліквідації аварійних руйнувань будівельних конструкцій методом PERT із застосуванням інформаційно-математичної системи оптимізації. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №79, С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.35-41>

7. Божинський М., Гаєва К. Оцінка альтернативних організаційно-технологічних рішень з тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій на основі багатокритеріальних методів прийняття рішень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. Київ, 2025. № 56. Том 1. С.142-149 (*Особистий внесок здобувача: розроблено ієрархічну структуру критеріїв, що охоплює понад сорок параметрів, які характеризують безпеку, вартість, терміни, забезпеченість ресурсами, рівень механізації та логістичні обмеження*).

DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).142-149](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).142-149)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Максименко В. П., Божинський М. О., Григоровський А. П. Оцінка стійкості на закритичні впливи захисної вогневої споруди ВС1 по ПК «ЛПРА-САПР». *IV Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди*

спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, 26-27 квітня 2023 р.). Київ: КНУБА, 2023. С. 158-159.

9. Божинський М. О. , Бені О. В. Автоматизовані системи моніторингу деформованого стану будівельних конструкцій заглиблених промислових монолітно-каркасних споруд. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології»* (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2023. С. 416.

10. Тугай О. А., Григоровський П. Є., Божинський М. О. Аналіз основних методів, що застосовуються для ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель. *Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології»* (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2023. С. 176-177.

11. Тугай О. А., Хохлін Д. О., Божинський М. О. Превентивне підсилення залізобетонної ферми, що має аварійний технічний стан через втрату конструктивного елементу, як складова організаційно-технологічного рішення з ліквідації наслідків такої аварії. *Modern Problems of Science and Technology: Prospects for Further Development: collection of abstracts of the XXXVII International Scientific and Practical Conference* (Bergen, Norway, September 4-6, 2024). Bergen: International Scientific Unity, 2024. С. 14-17. ISBN 978-617-8427-27-6.

12. Тугай О. А., Хохлін Д. О., Божинський М. О. Загальна методика дослідження та алгоритми прогнозування показників процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань внаслідок позапроєктних впливів. *Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry: collection of scientific papers with proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference* (Toronto, Canada, April 9-11, 2025). Toronto: International Scientific Unity, 2025. С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-09.04.2025>.

13. Григоровський П. Є., Басанський В. О., Божинський М. О. Принципи визначення вартості будівельно-монтажних робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *17-та*

загальноукраїнська науково-практична конференція «Визначення вартості об'єктів будівництва, проектних, будівельно-монтажних та ремонтно-будівельних робіт із застосуванням сучасних технологій. Управління вартістю життєвого циклу об'єктів — 2025» (м. Івано-Франківськ, 20–23 травня 2025 р.). Івано-Франківськ, 2025. 2 с.

14. Божинський М. О., Тугай О. А. Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань за допомогою інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення. *Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент: Міжнародний науково-технічний форум* (м. Київ, 24-25 листопада 2025 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. С. 156-157.

15. Григоровський П. Є., Іваненко В. О., Бородиня В. В., Божинський М. О., Гаєва К. В. Особливості алгоритму прийняття організаційно-технологічних рішень тимчасового укріплення аварійних об'єктів при обмежених вихідних даних. *Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент: Міжнародний науково-технічний форум* (м. Київ, 24-25 листопада 2025 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. С. 190-191.

ЗМІСТ

	ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1.	АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАТЬ	28
1.1.	Історичний огляд питання виникнення аварійних руйнувань	28
1.2.	Аналіз досвіду використання будівельної оснастки та монтажних засобів, що застосовуються для ліквідації наслідків аварійних руйнувань	37
1.3.	Аналіз наукових досліджень, вітчизняних та міжнародних державних актів	45
1.4.	Мета та задачі дослідження	60
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	62
РОЗДІЛ 2.	ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	63
2.1.	Методика та методи дослідження	63
2.2.	Формування та дослідження критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань	67
2.3.	Дослідження та систематизація основних наслідків аварійних ситуацій	74
2.4.	Формування інформаційно-математичної системи з інтеграцію баз даних технічних рішень	81
	ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	94
РОЗДІЛ 3.	ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ	96

ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАНЬ

3.1.	Ранжування факторів та критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань	96
3.2.	Формування ідеальної моделі об'єкту дослідження	107
3.3.	Розробка концепції та методики інформаційного моделювання протиаварійного підсилення	110
3.4.	Розробка сукупності організаційно-технологічних моделей	116
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3		128
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ		130
4.1	Розробка структури модулів програмного забезпечення оптимізації вибору організаційно-технологічних рішень	130
4.2	Приклад розрахунку для вибору методу протиаварійного підсилення	142
4.3	Впровадження основних результатів дослідження	148
4.4	Перспективи подальших досліджень	161
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4		163
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ		165
СПИСКИ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		170
ДОДАТКИ		191

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку промисловості та впровадження високих технологій зростає обсяг та складність ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій техногенного характеру та впливів, що не передбачені при проєктуванні. При цьому різноманітність аварій та надзвичайних ситуацій, що призводять до переривання виробничих процесів критичної інфраструктури та промисловості, значно впливають на організацію та технологію ліквідації аварійних руйнувань. Підвищення ефективності робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань дозволить зменшити час до відновлення експлуатації промислових об'єктів та об'єктів критичної інфраструктури. Ліквідація наслідків аварійних руйнувань промислових об'єктів та об'єктів критичної інфраструктури має не лише технічне, а й значне соціально-економічне значення, адже від швидкості та ефективності цих робіт залежить стабільність економіки, збереження робочих місць, екологічна безпека та рівень захисту населення. Наявні підходи до ліквідації наслідків аварійних руйнувань не повною мірою враховують сучасні ризики, зокрема вторинні обвали, вплив залишкових навантажень, нестабільність частково пошкоджених конструкцій та високу змінність аварійних ситуацій. Це зумовлює необхідність вдосконалення організаційно-технологічних рішень, які базувалися на системному аналізі та адаптивних підходах. Своєчасне відновлення зруйнованих конструкцій безпосередньо впливає на відновлення виробничо-логістичних ланцюгів, що має критичне значення для експорту, енергетики, водопостачання та інших галузей, які формують життєдіяльність країни. Відсутність єдиних технологічних стандартів щодо ліквідації аварійних руйнувань в умовах непередбачуваних впливів вимагає розроблення інноваційних рішень, які можуть бути впроваджені у чинні нормативно-правові акти, стандарти та рекомендації для підвищення готовності до надзвичайних ситуацій. Удосконалення вітчизняних підходів до ліквідації аварій може мати також міжнародну значущість, з огляду на зростання інтересу до цивільного захисту,

сталого розвитку будівельної галузі та безпечної експлуатації об'єктів у кризових умовах.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота має безпосередній зв'язок з низкою наукових програм, державних пріоритетів, законодавчих та нормативних документів України. Дисертаційна робота співвідноситься зі стратегічними ідеями, визначеними Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» від 11.07.2001 № 2623-III, Постановою Кабінету Міністрів України від 30.04.2024 № 476 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні» та Указом Президента України від 21.04.2022 № 266/2022 «Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни».

Зв'язок дисертаційного дослідження з чинними нормативними документами у будівництві простежується через положення ДСТУ 9273:2024 щодо обстеження будівель і споруд та оцінювання їхнього технічного стану, ДСТУ 9288:2024 щодо організації і технології ремонту, підсилення та відновлення будівельних об'єктів, ДСТУ 9258:2023 щодо організації виконання будівельних робіт, а також із ДБН В.1.2-14:2018 і ДСТУ 9294:2024, оскільки запропоновані у роботі підходи спрямовані на забезпечення конструктивної безпеки, вибір рішень щодо тимчасового підпирання, підсилення, часткового демонтажу або відновлення елементів промислових будівель, а також на запобігання подальшому розвитку аварійних руйнувань.

Дисертаційне дослідження відповідає державним пріоритетам науково-технічного розвитку України; прямо пов'язане з законами, програмами та постановами, що регламентують безпеку, аварійне реагування та відновлення конструкцій; має практичну значущість у межах державної політики безпеки та стійкості інфраструктури; відповідає тематичній спрямованості науково-дослідних робіт Державного підприємства «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького» Міністерства інфраструктури України і

виконане за науковими напрямками його діяльності. Основою виконаних робіт були дослідження автора, який брав участь у наукових розробках інституту.

Дисертаційна робота виконана у Київському національному університеті будівництва і архітектури, на кафедрі організації та управління будівництвом. Впровадження результатів дослідження виконані у виробничу діяльність ТОВ «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» та ТОВ «КДК ІНЖИНІРИНГ». Метод застосовано для відновлення ліквідації наслідків впливів, не передбачених при проектуванні, критично важливих підприємств та енергооб'єктів.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, які переривають виробничі процеси, за рахунок вибору найменш тривалих рішень методом інформаційно-математичного моделювання з використанням баз даних, що складаються з варіантів типових руйнувань та технічних, технологічних і організаційних рішень ліквідації їх наслідків.

Поставлена мета визначила необхідність вирішення наступних **завдань**:

1. Аналіз наукової літератури, напрацювань по напряму організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань.
2. Дослідження факторів, що впливають на вибір раціональних організаційно-технологічних рішень.
3. Дослідження та формування множини організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань.
4. Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань.
5. Впровадження результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є процес ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових будівель.

Предмет дослідження – організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель..

Методологія і методи дослідження. Методологічною основою дослідження стали емпіричні, теоретичні, а також системні методи аналізу організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Методологія ґрунтується на:

- системному підході – для аналізу аварійних ситуацій як складних інженерно-організаційних систем;
- технологічному підході – при розробленні ефективних методів ліквідації пошкоджень; рівнях управління процесами – для організації робіт в умовах надзвичайних ситуацій;
- ризик-орієнтованому підході – для оцінки і мінімізації наслідків впливів, не передбачених проєктом.

Використані теоретичні методи включають аналіз літературних джерел для систематизації сучасних підходів до ліквідації аварійних руйнувань, конструктивних рішень, нормативів (ДБН, ДСТУ, EN), формалізацію та узагальнення, зокрема, формулювання моделей аварійних ситуацій, визначення типових сценаріїв руйнувань, а також системний аналіз з метою побудови логіки аварійних процесів, вибору оптимальних рішень на всіх етапах ліквідації. Статистичний аналіз використано для обробки даних про аварії, частоту повторень, тривалість ліквідації, причинно-наслідкові зв'язки. Моделювання аварійних ситуацій відбувається за допомогою програмних комплексів на основі методу скінчених елементів таких, як SCAD-Office, ANSYS, LIRA-SAPR тощо дозволяє зробити аналіз поведінки залізобетонних конструкцій при руйнуваннях. Для визначення доцільності і ефективності технологічних рішень в умовах обмежених даних було використано метод експертних оцінок. Завдяки методу аналізу ієрархій (АНР) було прийнято оптимальне рішення серед альтернатив технологій ліквідації руйнувань за кількома критеріями. На основі обстеження реальних об'єктів були вивчені пошкодження елементів збірних залізобетонних каркасів, зафіксовані типові дефекти та виявлено характер руйнувань. При застосуванні різних технологічних схем ліквідації наслідків виконано оцінку витрат, часу та ресурсів. Для визначення основних факторів, що впливають на ефективність рішень

(наприклад, доступність техніки, кваліфікація персоналу, ресурси замовника тощо) було використано факторний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у визначенні найбільш ефективного методу відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель. Зокрема:

вперше:

- виконана класифікація факторів (критеріїв) для забезпечення більш ефективного скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства, що забезпечує підвищення достовірності прийняття рішень при відборі альтернативних методів відновлення згідно їх організаційно-технологічних характеристик; запропоновано інструментарій для визначення найшвидшого методу відновлення пошкоджених конструкцій; розроблено систему вибору принципу відновлення з використанням баз даних;

удосконалено:

- метод відновлення з використанням монтажного майданчика, що встановлюється на мостовий кран для проведення відновлювальних робіт з можливістю підпирання пошкоджених залізобетонних прольотних конструкцій внаслідок впливів, не передбачених при проєктуванні;

- методичне обґрунтування впровадження методів відновлення на підставі достовірності організаційно-технологічних рішень щодо тривалості виконання робіт;

- науково-методичний апарат організації будівництва в частині прийняття організаційно-технологічних рішень на основі теорії нечіткої логіки з урахуванням невизначеності, що дозволяє обрати найкращий варіант методу відновлення;

дістали подальший розвиток:

- процеси оцінки впливу факторів невизначеності на рівень організаційно-технологічної надійності впровадження методів відновлення;

- методи відновлення пошкоджених конструкцій з залученням наявного обладнання підприємств;

- принципи залучення інформаційних технологій для вибору оптимальних організаційно-технологічних рішень з відновлення пошкоджених конструкцій будівель внаслідок впливів, не передбачених при проєктуванні.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що матеріали дослідження є конкретним та своєчасним внеском у науку та практику будівельної діяльності, оскільки сприяють удосконаленню організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель, спричинених впливами, не передбаченими при проєктуванні.

У результаті дисертаційного дослідження встановлено, що одним із ефективних організаційно-технологічних методів скорочення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель, спричинених впливами, не передбаченими при проєктуванні, є залучення наявного мостового вантажопідйомного обладнання промислових цехів до виконання аварійно-відновлювальних робіт. Такий підхід дозволяє скоротити тривалість мобілізації технічних ресурсів; мінімізувати витрати на доставку спецтехніки; забезпечити оперативний демонтаж, підпирання та відновлення пошкоджених елементів конструкцій; підвищити безпеку персоналу за рахунок зменшення обсягу ручних та ризикованих операцій.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є завершеним науковим дослідженням і містить розв’язання актуальної науково-прикладної задачі. Наукові положення, результати, висновки та рекомендації, які викладені в дисертації та подані на захист є результатом самостійної роботи автора. Винесені на захист наукові результати належать особисто автору. До наукових результатів здобувача належить:

- обґрунтовано необхідність проведення аналізу та оцінки доцільності використання альтернативних методів відновлення пошкоджених конструкцій будівель внаслідок впливів, не передбачених при проєктуванні, в умовах невизначеності задля забезпечення більш ефективного скорочення тривалості

виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства;

- доведено необхідність врахування впливу невизначеності як фактору на використання альтернативних методів відновлення пошкоджених конструкцій будівель внаслідок впливів, не передбачених при проектуванні;
- доведено важливість автоматизації прийняття рішення для зменшення тривалості виконання робіт;
- розроблена класифікація критеріїв невизначеності, які поділені на 9 груп за видами джерел їх впливу, та принципи автоматизованого прийняття рішення для зменшення тривалості виконання робіт;
- обґрунтовано доцільність застосування теорії нечіткої логіки та автоматизації для прийняття рішень щодо відбору найшвидшого методу відновлення пошкоджених конструкцій будівель в умовах невизначеності.

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення та висновки дослідження оприлюднені автором у виступах на всеукраїнських і міжнародних науково-практичних конференціях, зокрема: IV Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, 26-27 квітня 2023 р.); Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології”, Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.); XXXVII International scientific and practical conference «Modern Problems of Science and Technology: Prospects for Further Development» (Берген, Норвегія, 4-6 вересня 2024 р.); 3 Міжнародна науково-практична конференція «Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry» (Торонто, Канада, 9-11 квітня 2025 р.); конференція «Визначення вартості об’єктів будівництва, проектних, будівельно-монтажних та ремонтно-будівельних робіт із застосуванням сучасних технологій. Управління вартістю життєвого циклу об’єктів - 2025» (м. Івано-Франківськ, 20-23 травня 2025 р.); Міжнародний науково-технічний форум “Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент”,

Київський національний університет будівництва і архітектури (м. Київ, 24-25 листопада 2025 р.)

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 15 наукових працях, серед яких 1 стаття – у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ЄС або ОЕСР (Норвегія, Канада), 6 статей – у виданнях, затверджених МОН України до переліку фахових видань з технічних наук, 8 статей – у збірниках (наукових доповідей), оприлюднених на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, форумах.

Структура та обсяг дисертаційної роботи визначається метою, змістом завдань та предметом наукового дослідження і композиційно складається із анотації, змісту, вступу, основної частини в складі чотирьох розділів, що містять у собі 16 підрозділів, висновків до кожного розділу, загальних висновків, списку використаних джерел обсягом 155 найменувань, 8 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 141 сторінка друкованого тексту. Робота ілюстрована 49 рисунками та 24 таблицями.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАТЬ

1.1. Історичний огляд питання виникнення аварійних руйнувань

Промислова забудова кінця XX – початку XXI століття сформувала унікальний тип будівель, для яких збірний залізобетон і легкі металеві каркаси стали найчастішими проєктними рішеннями завдяки швидкому монтажу та низькій вартості. У той самий час глобальна статистика аварій засвідчила вразливість даного типу будівель до аварійних навантажень, які не входять до стандартних комбінацій навантажень згідно з державними будівельними нормами.

Промислові будівлі зі збірних залізобетонних конструкцій зазнають часткового або повного руйнування від навантажень, не передбачених при проєктуванні (позапроєктних). До таких навантажень належать: вибухи (газові, несправне обладнання або вибухові пристрої), пожежі, екстремальні кліматичні явища (понаднормові снігові та вітрові навантаження), динамічні удари (від транспорту або падіння важких об'єктів) та інші техногенні чи природні надзвичайні впливи. Хоча такі події трапляються відносно нечасто, у XXI столітті опубліковано значну кількість наукових праць, що аналізують подібні випадки аварійних руйнувань по всьому світу [1-6, 17, 24].

За даними з відкритих джерел за 2000-2024 роки задокументовано понад 1500 випадків часткових або повних руйнувань промислових і складських будівель. Переважна більшість з них стосувалася об'єктів зі збірними залізобетонними каркасами (орієнтовно 60%), тоді як сталеві каркаси становили близько третини. У галузевих звітах та оглядах головними причинами виділені непередбачені нормативними документами навантаження – вибухи, ударні навантаження, екстремальні погодні явища та пошкодження та фізичний знос конструкцій у процесі експлуатації (табл.1.1) [7-10].

Таблиця 1.1.

Коротка характеристика навантажень та впливів на конструкції промислових будівель, не передбачених при проєктуванні

Вид навантажень та впливів, не передбачених при проєктуванні	Коротка характеристика (типові приклади)
Вибухові впливи	Миттєвий надлишковий тиск від вибухів газів, детонація пошкодженого обладнання або вибухових пристроїв; пошкодження перерізу конструкцій уламками та руйнування конструкцій через зниження запасу міцності; ініціює прогресуюче руйнування конструкцій будівлі.
Пожежі та впливи підвищених температур	Довготривала дія підвищених температур: зниження міцності бетону й арматури за рахунок зміни фізико-механічних параметрів матеріалів, втрата жорсткості вузлів; після 2-3 год температурного впливу на залізобетонні конструкції можливе їх крихке (раптове) руйнування.
Екстремальні природні явища	Понаднормові снігові, вітрові та ожеледно-вітрові навантаження. Перевищення нормативних навантажень, накопичення деформацій покриття, просідання або обвалення ферм.
Динамічні удари / механічні впливи	Динамічне навантаження від удару автотранспортом чи навантажувальними механізмами цехів, падіння важких об'єктів. Локальне руйнування колон або ферм (основних несучих елементів), що може перейти в прогресуюче руйнування конструкцій будівлі.

Комплексний аналіз міжнародних баз даних [7, 11-18] підтверджує, що головний ризик для промислових будівель припадає на період експлуатації: приблизно 60-70% обвалень відбуваються вже після введення будівлі в експлуатацію, переважно через:

- зношення конструктивних елементів,
- систематичні перевищення розрахункових навантажень,
- відсутність систематичного технічного обстеження та відсутність своєчасних ремонтних робіт,
- дію підвищених температур внаслідок пожежі або підвищений тиск (розподілене навантаження) на конструкції внаслідок вибуху.

На стадії будівництва стається орієнтовно 20-30% випадків. Ключовими причинами є порушення послідовності монтажу, відсутність тимчасового підпирання й дефекти стикових швів у збірних каркасах. На етап демонтажу припадає лише 5-10% випадків, проте недостатнє опрацювання організаційно-технологічних рішень щодо виконання демонтажних робіт та порушення встановленої послідовності розбирання несучих конструкцій можуть призводити до втрати стійкості частково демонтованої конструктивної системи, неконтрольованого обвалення та, за певних умов, розвитку прогресуючого руйнування [17, 24].

Українські та європейські норми [20-23] розглядають аварійні навантаження як рідкісні впливи значної інтенсивності, що враховуються в окремих аварійних розрахункових ситуаціях; при цьому EN 1991-1-7:2025 [23] додатково орієнтований на обмеження поширення локального пошкодження та запобігання непропорційному руйнуванню конструктивної системи.

Зіставлення нормативного проєктного строку 50 років для будівель масової забудови із фактичним терміном експлуатації європейського виробничого фонду показує суттєве перевищення розрахункового ресурсу [11, 13-15]. На загальнодержавному рівні в період сьогодення понад дві третини збірних залізобетонних промислових цехів в Україні та за кордоном експлуатуються поза своїм нормативним терміном, встановленим у нормативних документах держав, де вони споруджені, що суттєво підвищує ризики аварій та прогресуючого руйнування будівель та споруд.

Практичне значення врахування аварійних впливів підтверджується статистичними дослідженнями будівельних аварій. Зокрема, Szymczak-Graczyk та

співавтори [25] на основі даних про будівельні катастрофи в Польщі показали суттєвий вплив неврахованих аварійних дій, зокрема сильного вітру, снігових навантажень, пожеж, вибухів та інших екстремальних впливів, на виникнення аварій і руйнувань будівельних об'єктів.

Узагальнені дані міжнародних і національних реєстрів вказують, що понад половину зафіксованих обвалень припадає саме на період експлуатації [7, 16-18]. Автори [7] аналізують реальні випадки прогресуючого руйнування будівель, систематизують початкові пошкодження, механізми поширення руйнування та його наслідки, а також формують базу даних випадків обвалення. Збірник IABSE [18] містить документовані випадки руйнування будівель, випадки відмов конструкцій, пов'язаних із порушенням їх працездатності без подальшого обвалення, технічні, людські й організаційні причини аварійних руйнувань та результати їх інженерного розслідування.

Таким чином, підтверджується необхідність проведення систематичного обстеження будівель з оцінки їх залишкової несучої здатності та формуються передумови для удосконалення організаційно-технологічних рішень із ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель.

Непередбачені нормативними документами навантаження на збірні залізобетонні та сталеві каркаси промислових будівель становлять спільний клас загроз, у яких раптовість дії й перевищення розрахункових значень перетворюють локальне пошкодження на системну відмову. Вони охоплюють вибухові імпульси, динамічні удари, кліматичні екстремуми та експлуатаційне старіння; різняться походженням, але мають єдиний наслідок – пошкодження конструктивних елементів, що ініціює процес локального або прогресуючого руйнування будівель або споруд. Нижче кожен тип проілюстровано випадком, що демонструє механізм руйнування.

На рисунку 1.1. а), б) наведені результати вибуху, що стався 4 серпня 2020 року у порту Бейрута, під час якого неконтрольовано детонували орієнтовно 2750 т аміачної селітри, що еквівалентно близько 1 кТ тротилу.



а)



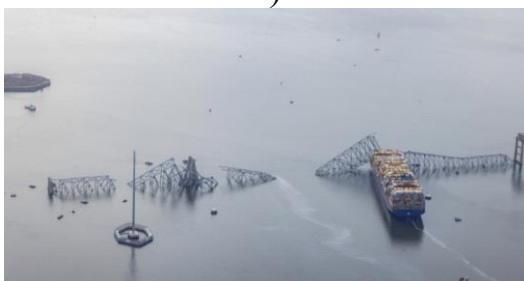
б)



в)



г)



г)



д)



е)



є)

Рисунок 1.1. Приклади аварійних руйнувань будівель та інженерних споруд різного призначення: а, б) порт у місті Бейрут (Ліван) до та після катастрофи, 2020 рік; в) наслідки вибуху зернового пилу на елеваторі DeBruce (Канзас, США); г) наслідки ракетного удару по НПЗ у Кременчузі (Україна), 2022 рік; г) наслідки динамічного удару у мостову опору (Балтимор, США), 2024 рік; д) наслідки обвалення покрівлі торгового комплексу в м. Саттон (Массачусетс, США); е) пошкоджений логістичний центр Amazon після проходження торнадо (Іллінойс, США), 2021 р.; є) зруйнована 16-поверхова будівля внаслідок пожежі (Тегеран, Іран), 2017 р.

Вибух сформував кратер ~ 140 м у діаметрі, повністю зруйнував причал і складські ангари, призвів до загибелі щонайменше 218 людей, понад 7 000 поранених і пошкодження близько 77 000 квартир (майже 300 000 людей втратили житло). Ударна хвиля зрізала болтові вузли сталевих рам і викликала оголення арматури залізобетонних конструкцій, суттєво знизивши міцність залізобетонних колон складів у радіусі до 500 м [26-28].

На рисунку 1.1. в) наведені результати серії вибухів зернового пилу через надлишковий тиск від 8 червня 1998 р. на елеваторі DeBruce у Вічиті (Канзас, США), що підняв 3-дюймові залізобетонні покрівельні плити й частково зруйнував сотні метрів транспортної галереї. Загинуло 7 працівників, а 10 було поранено. Розслідування засвідчило, що корозія послабила старі болтові стики «колона-ригелів» – через втрату частини перерізу та жорсткості вибуховий імпульс запустив прогресуючий обвал каркаса. Як наслідок були посилені вимоги до аспірації пилу, вибухового розвантаження та контролю корозії болтових з'єднань у збірних залізобетонних каркасах елеваторів. Ці заходи знизили ризики повторних вибухів і стали ключовим прецедентом для удосконалення організаційно-технологічних рішень із ліквідації наслідків аварійних руйнувань [29-30].

На рисунку 1.1. г) відображено руйнування покрівель складів і ремонтних приміщень без жорстких діафрагм, які сталися з 2022 по 2024 роки через численні ракетні удари РФ по нафтобазах і нафтопереробних заводах в Україні. Підрив резервуарів із вибуховим імпульсом понад 30 кПа зумовив деформацію перекриття в напрямку ударної хвилі та запустив прогресуюче руйнування. У низці випадків, зокрема на Кременчуцькому НПЗ, зафіксовано руйнування збірних залізобетонних адміністративних та промислових будівель.

На загальнодержавному рівні ці удари уже в червні 2022 року практично зупинили внутрішнє нафтоперероблення, змусивши Україну покривати 100% потреб в бензині й дизелі за рахунок імпорту і спричинивши стрибок цін та логістичні перебої під час посівних кампаній. Крім прямих економічних втрат (збитки сектору оцінюють у мільярди доларів) країна отримала масштабні екологічні ризики від пожеж і викидів токсичних продуктів горіння. Вразливість

стратегічної інфраструктури підкреслює необхідність прийняття швидких, відпрацьованих організаційно-технологічних рішень для ліквідації наслідків аварійних руйнувань [31].

Рисунок 1.1. г) ілюструє, як 26 березня 2024 р. контейнеровоз Dali валовою місткістю ≈ 95000 т, утративши електроживлення й керованість, врізався у південну опору сталевому фермовому мосту Francis Scott Key Bridge (Балтимор, США). Бічний удар, оцінений експертами як сотні МН, призвів до руйнування основної несучої опори, після чого два центральні прогони загальною довжиною приблизно 366 м обвалилися в річку Патапско, а решта мостових конструкцій прогресивно зламалася. Загинули 6 дорожніх робітників і заблоковано судноплавний канал [32]. Масштаби втрат підкреслюють критичну необхідність розробки й впровадження відпрацьованих організаційно-технологічних рішень для ліквідації наслідків аварійних руйнувань у ключових інфраструктурних об'єктах.

На рисунку 1.1. д) показано наслідки обвалення покрівлі торгового комплексу. У зимовий сезон 2010-2011 рр. у штатах Коннектикут, Массачусетс, Нью-Йорк і Род-Айленд зафіксовано майже 500 випадків проблемних дахів, з яких 382 – повні чи часткові обвалення дахів. Детальний аналіз показав, що розрахункові снігові навантаження на місцях становили в середньому близько 70% значень, тобто реальні навантаження були нижчі за нормативні, але будівлі втратили запас міцності через фізичне старіння конструкцій та корозію арматури й інших конструктивних елементів, тож саме зниження несучої здатності стало головною причиною масових руйнувань дахів у регіоні [33-34].

На загальнодержавному рівні ці масові руйнування спричинили оновлення стандартів із додатковим врахуванням таких параметрів як вік будівель та вплив корозії на будівельні конструкції, а також удосконалення методики розрахунку снігових навантажень, включаючи історичні метеодані.

Рисунок 1.1. е) ілюструє зруйновану покрівлю та стіни логістичного центру Amazon через торнадо EF-3 з піковою швидкістю ≈ 265 км/год, яке вдарило по ≈ 102 тис. м² 10 грудня 2021 року. Загинуло 6 працівників, ще кількох травмовано. Слідчий звіт, оприлюднений у 2022 році, вказав, що частина сталевих колон була

погано анкерована або мала ослаблені та іржаві болтові з'єднання, тому підйомна сила вітру «висмикнула» їх із фундаменту, що стало критичним моментом прогресуючого руйнування будівлі [35-36]. Експлуатацію будівлі відновили після понад 1000 днів простою.

На рисунку 1.1. є) відображено руйнування несучих конструкцій 16-поверхової вежі Plasco, яка впала 19 січня 2017 року у Тегерані внаслідок пожежі, яка тривала понад 3,5 год. Численні дослідження показали, що відсутність або відшарування вогнезахисного шару й багаторічна корозія сталевих елементів призвела до того, що при температурах понад 600°C жорсткість і міцність різко впали, а після втрати двох внутрішніх колон прогресуюче руйнування завершилося за приблизно 90 с, забравши життя 22 людей (16 пожежників) [37-38].

Наведені приклади демонструють, як раптове аварійне руйнування ключового інфраструктурного об'єкта може спричинити каскадний ефект на рівні держави – від людських втрат і погіршення логістики до довготривалої фінансової та політичної дестабілізації.

В українських реаліях 2022–2024 років руйнування об'єктів нафтогазової та промислової інфраструктури мали критичний вплив на енергетичну, логістичну та аграрну безпеку, а відсутність готових організаційно-технологічних рішень для швидкої ліквідації наслідків призвела до суттєвого уповільнення відновлення. Це підкреслює необхідність формування відпрацьованих, структурованих підходів до аварійно-відновлювальних робіт, особливо для збірних залізобетонних каркасів, які становлять значну частку промислового фонду.

Таким чином, тема дослідження має високу загальнодержавну актуальність, оскільки напряму пов'язана з підвищенням техногенної безпеки, стійкості критичних споруд і зменшенням часу та витрат на відновлення об'єктів після аварійних руйнувань.

Узагальнений аналіз аварій каркасів промислових будівель [1-3] показав, що критичним місцем є вузол стикування колон з ригелем чи фермою. Незалежно від виду впливів, не передбачених при проєктуванні: корозія (зменшення перерізу елемента), комбінація граничного снігового навантаження з одночасним

зменшенням перерізу конструкцій чи вибуховий імпульс призводить до руйнування у даному вузлі. Локальний дефект (тріщина, зменшення перерізу арматури, відшарування захисного бетону) спричиняє концентрацію напружень і зменшення жорсткості; внутрішні зусилля перерозподіляються на сусідні елементи. Коли напруження перевищує залишкову несучу здатність, відбувається руйнування вузлів: виривання анкерів, виривання зварних закладних чи руйнування зварного шва. Перевантажені елементи втрачають стійкість послідовно, запускаючи прогресуюче руйнування частини або будівлі в цілому. Період зменшення несучої здатності до початку руйнування при впливах, не передбачених при проєктуванні, може становити від декількох секунд (при вибуху) до років (при повільній корозії матеріалів), але принцип залишається однаковим – локальна відмова з'єднання у вузлі переростає у системну через відсутність достатнього запасу міцності.

Згідно звітів з обстеження, виконаних державним підприємством «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького» (ДП «НДІБВ») понад 60% зафіксованих випадків руйнувань пов'язані з впливами, не передбаченими при проєктуванні, після яких у будівлях залишаються пошкоджені багатопролітні конструкції (ферми), що створюють реальну загрозу подальшого руйнування. Детальні випадки класифіковано як службову інформацію оборонного призначення, тому окремі посилення не публікуються. Зазначимо лише, що всі випадки підтверджені результатами обстежень та інструментальних вимірювань фахівцями інституту.

Наявна значна кількість результатів обстежень залізобетонних, металевих та інших конструкцій, зібраних протягом десятиліть під час планових і позапланових оглядів. Їх подальше опрацювання лежить в основі формування єдиної структурованої бази даних пошкоджень будівель. Матеріали цих обстежень системно опрацьовуються, при цьому дефекти класифікуються за категоріями елементів, їх ключовими параметрами (геометрія та локалізація тріщин, пошкодження бетону, корозія елементів тощо), доповнюються схемами пошкодження та короткими пояснювальними примітками, та, як попередні

результати, узагальнені у Додатку А. Він наразі слугує вихідною платформою для подальшого аналітичного моделювання та прогнозування ризиків.

У наступних розділах ця інформація буде доповнена алгоритмами вибору та оцінкою методів відновлення, що ґрунтуватимуться на тих самих матеріалах обстежень, але вже з акцентом на ефективність заходів підсилення.

1.2. Аналіз досвіду використання будівельної оснастки та монтажних засобів, що застосовуються для ліквідації наслідків аварійних руйнувань

Ефективне та безпечне виконання робіт з протиаварійного підпирання конструкцій промислових та інфраструктурних об'єктів безпосередньо залежить від професійного застосування механізованих засобів забезпечення доступу персоналу, матеріалів й устаткування [39]. Розглянемо перевірені на практиці та експериментальні організаційно-технологічні рішення, які охоплюють увесь спектр сучасних підходів до тимчасових підпирань несучих конструкцій після аварійних руйнувань.

Класичні системи, зокрема рамні та модульні риштування, телескопічні стійки, трубно-хомутові конструкції, мобільні підйомні робочі платформи, сертифіковані за EN 12810/12811, EN 1065, EN 280 та іншими міжнародними стандартами, використовуються на більшості будівельних майданчиків [40, 43, 45, 48, 49, 53, 54, 59]. Водночас їхній монтаж та демонтаж часто виявляється дуже трудомістким, що суттєво впливає на терміни й вартість виконання робіт.

Як експериментальні та інноваційні рішення розглядаються спеціалізовані кранові платформи різних конфігурацій:

- рейкові візки з ножичними підйомниками,
- самохідні модульні платформи на кранових шляхах,
- інтегровані підйомні системи у мостових і полярних кранах.

Остання група зустрічається зрідка та розглядається переважно для формування повної картини наявних технологій.

Розглянемо кожен тип платформи з позицій нормативних вимог, монтажно-експлуатаційних характеристик, типових навантажень і ризиків.

Рамні та модульні риштування – це збірні системи підкріплення, в яких несучий каркас утворюють заводські сталеві або алюмінієві рами з вмонтованими стійками, поперечними в'язями й замками, що сполучаються горизонтальними ригелями-траверсами та настилами (рис.1.2. а).

Європейські стандарти EN 12810-1 [41] та EN 12811-1 [42] передбачають класифікацію робочих риштувань за експлуатаційним навантаженням; EN 12811-1 встановлює шість класів із рівномірно розподіленим навантаженням на робочу зону від 0,75 до 6,0 кН/м², а також вимоги до несучої здатності, стійкості та деформативності конструкції. Для фасадних риштувань EN 12810-1 передбачає їх роботу у взаємодії з будівлею із забезпеченням просторової стійкості системою зв'язків із фасадом. Більшість сучасних рамних систем Layher [43], Hünnebeck, PERI UP [44] сертифіковано саме за цими документами.

Типові елементи виготовляють із оцинкованої сталі або алюмінію, що забезпечує несучу здатність стійки до 30 кН на стиск. Для важких монтажних задач допускається збільшення перерізу або використання подвійних рам. Монтаж відбувається секціями по 2,0-3,0 м по вертикалі. Швидкість складання, згідно хронометражних досліджень у промислових цехах, коливається від 15 до 25 м² настилу на одного робітника за годину при використанні модульних вузлів, що на 20-30 % швидше від трубно-хомутових систем. Розрахункова висота самостійно стоячої вежі без анкерування обмежується 24 м, а для прив'язаної до каркаса – до 60 м, за умови кріплення в'язей не рідше ніж через кожен четвертий ярус [45].

Проте рамні та модульні риштування залишаються базовим інструментом для ремонтів, реконструкції та обслуговування промислових збірних каркасів, забезпечуючи швидкий монтаж, стандартну несучу здатність і сумісність із вимогами EN та національних ДСТУ. Водночас їх монтаж і демонтаж є дуже трудомістким та довготривалим.

Телескопічні (інвентарні) стійки – це регульовані сталеві або алюмінієві стійки з різьбовою муфтою, призначені працювати на стиск у тимчасових схемах підпирання. Нормативну основу становлять EN 1065 [46] для сталевих та EN 16031 [47] для алюмінієвих стійок, які класифікують елементи за довжиною та несучою

здатністю. Серії PERI MULTIPROP MP і PERI HD 200 (Рис. 1.2, б) можуть мати несучу здатність до 20 т на стійку, що дозволяє їх використовувати для стабілізації (підпирання) балок чи ферм після часткових руйнувань [48-49].

У підпиранні пошкоджених конструкцій каркасів ці стійки використовуються для розвантаження (зменшують внутрішні зусилля у пошкоджених елементах конструкцій за допомогою їх перерозподілу) на час проведення детального обстеження та відновлювальних робіт. Для правильного підбору телескопічних (інвентарних) стійок необхідно визначити залишкову несучу здатність пошкодженого елемента і частку навантаження, що передається на сітку додаткових стійок, а також перевіряють несучу здатність основи на сприйняття точкових реакцій від додаткових стійок. Відхилення стійки від вертикалі лише на 1-2° або поява ексцентриситету призводить до виникнення додаткових зусиль у стійці (моменти), що значно зменшує вертикальну силу, що вони можуть сприймати. Відповідно монтаж супроводжується встановленням діагональних розкосів та розпірок з детальним контролем вертикальності стійок [50].

Основним недоліком є складність та тривалість монтажу. При дотриманні основних умов експлуатації системи типу PERI забезпечують надійне підпирання з можливим максимальним навантаженням до 200 кН, що робить їх базовим інструментом аварійного підпирання багатопролітних конструкцій промислових будівель.

Трубно-хомутові системи та шпренгелі. Трубно-хомутове підпирання складається зі стандартних сталевих труб (Рис.1.2, в) і поворотних/нерухомих хомутів згідно з EN 74-1 [51] та EN 74-2 [52]. У випадках, коли системи використовуються як риштування, вони підлягають вимогам EN 12811-1 [42]. Однак, коли сприймають значні вертикальні навантаження, то підлягають вимогам EN 12812 [39]. Максимально можлива несуча здатність таких систем може сягати до 60 кН на стійку.

Головною перевагою даних систем для аварійного підпирання можна вважати можливість зміни їхньої геометрії: труби та хомути дають змогу стикувати елементи під довільним кутом, оминаючи залишки обвалених конструкцій чи

обладнання. Допоміжні шпренгелі мають можливість регулювання по довжині 250-350 мм і сприймають навантаження до 80-100 кН, що підтверджується технічними паспортами PERI HD Spindle [53] та DokaStaxo 100 SpindleJack [54].

Система чутлива до затяжки болтів кріплення у вузлах (хомутах). Випробування показали, що послаблення болта на 25 Н·м може зменшити несучу здатність вузла майже на 40% [55]. Зважаючи на вище наведені фактори, трубно-хомутіві системи широко використовуються при аварійно-рятувальних роботах для тимчасового підпирання.

Мобільні підйомні робочі платформи охоплюють ножичні, телескопічні та комбіновані механізми підйому, що проєктуються й випробовуються відповідно до EN 280:2022 (Рис.1.2, г) [56]. Він установлює вимоги до розрахунку, стійкості, конструкції, безпеки та випробувань мобільних підйомних робочих платформ (MEWP).

Основні труднощі при використанні мобільних підйомних робочих платформ пов'язані з забезпеченням горизонтальної стабільності робочого майданчика. Крім того вони мають низку експлуатаційних обмежень:

- невеликі колеса потребують попередньо очищеної від будівельного сміття підлоги та рівного покриття;
- електричні та гібридні моделі вимагають додаткового часу для заряджання або доступу до електромережі чи встановлення генератора;
- платформи мають обмежену вантажопідйомність, що досягає максимум 750 кг, відповідно технічні характеристики не дозволяють використовувати її для тимчасового підпирання.

Окрему групу нормативних документів становлять стандарти та правила, що регламентують застосування засобів доступу персоналу до робочих зон, розташованих на висоті, зокрема мобільних підйомних робочих платформ, підвісних кошиків та щоглових робочих платформ. У контексті ліквідації наслідків аварійних ситуацій такі засоби можуть використовуватися для виконання огляду, обстеження, монтажу тимчасових елементів, демонтажу пошкоджених конструкцій та інших робіт у зонах з обмеженим або ускладненим доступом [57-59]. Вимоги до

підготовки операторів мобільних підймальних платформ визначено ISO 18878:2025 [60], конструктивні та безпекові вимоги до підвісних кошиків для підймання людей кранами регламентовано EN 14502-1:2010 [61], а до щоглових робочих платформ – EN 1495:1997+A2:2009 [62]. Додаткові вимоги щодо безпечного застосування підймальних засобів для переміщення персоналу наведено у DGUV Regel 101-005 [63].

Монтажний майданчик, встановлений на мостовий кран – це спеціалізований стаціонарний або мобільний робочий майданчик, що встановлюється на елементи наявного мостового крану та призначений для забезпечення безпечного доступу персоналу до важкодоступних висотних ділянок будівель та споруд [64]. Традиційні риштування чи пересувні колісні вишки в окремих умовах (великих цехах, ангарах, машинних залах енергоблоків) можуть бути малоефективними або взагалі не можуть бути використані через обмеження у просторі (фундаменти під обладнання, технологічні майданчики, підвісне обладнання, завали тощо) або необхідність максимально швидкого виконання робіт. Стаціонарні монтажні платформи, закріплені на рейках для кареток, або безпосередньо на балках мостового крана, використовують його існуючі елементи як направляючі, таким чином, створюється оперативний метод доступу до конструкцій, розташованих на висоті (Рис. 1.2. д).

Достатньо висока вантажопідйомність мостового крану дозволяє розглядати можливість тимчасового підпірання пошкоджених конструкцій за допомогою додаткових стійок, обпертих на монтажний майданчик.

Різновидом мобільного майданчика можна розглядати платформи із рейковою базою та ножичним підйомником. Платформи цього типу складаються з візка, встановленого безпосередньо на дві паралельні рейки мостового крана, та ножичного підйомника, змонтованого на верхній частині візка [64]. Візок оснащений ходовими колесами, які охоплюють оголовки рейок мосту, забезпечуючи стабільне й точне пересування уздовж прольоту та горизонтальну стабільність конструкції. Ножичний підйомник дає можливість вертикального підйому робочої платформи від рівня рейок до висоти до 12 м (залежно від моделі)

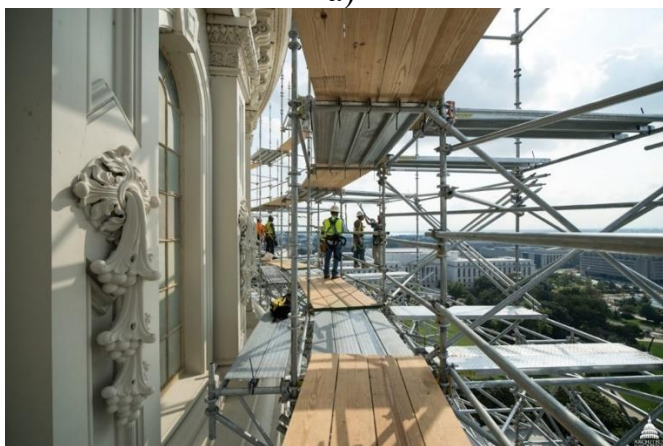
з відомою вантажопідйомністю до 1000 кг, що дозволяє піднімати бригаду з інструментом та невеликі комплектуючі (Рис. 1.2. е), але унеможливорює тимчасове підпирання пошкоджених конструкцій.



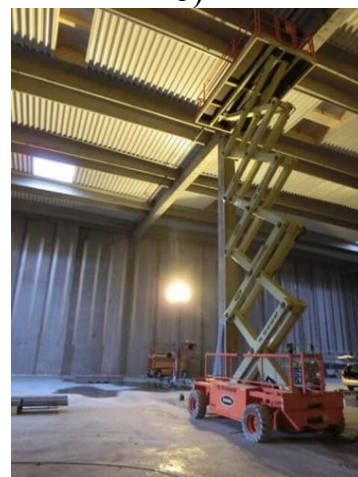
а)



б)



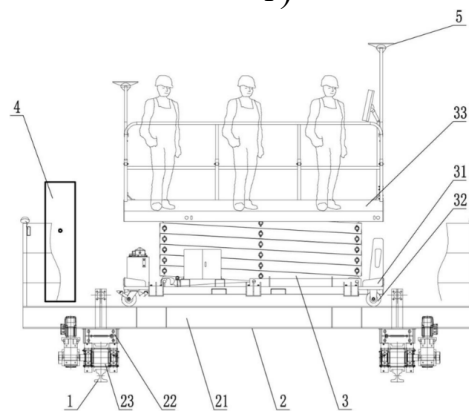
в)



г)



д)



е)

Рисунок 1.2. а) приклад використання рамного риштування для виконання робіт у зоні стелі; б) приклад використання серії важких стійок PERI HD 200

для виконання будівельних робіт зі зведення мосту; в) приклад використання трубно-хомутових систем для виконання фасадних робіт; г) приклад використання мобільних підйомних робочих платформ для виконання робіт у зоні покриття; д) монтажний майданчик для встановлення на мостовий кран; е) схема монтажного майданчика з ножичним підйомником

Далі розглянуто варіанти монтажних платформ, що мають специфічні характеристики, які використовуються у промислових та спеціалізованих умовах, зокрема у енергетичних, машинобудівних, аерокосмічних та портових об'єктах. Отже, можливо допустити доцільність їх адаптації для використання у протиаварійних заходах у стандартних умовах промислових будівель.

Підйомна платформа «Форстор» – платформа, що виготовляється компанією «Форстор» в Україні, представляє собою зварну сталеву раму з ножичним механізмом (Рис. 1.3, а). Вантажопідйомність серійних моделей сягає 6 т, а висота підйому – до 10 м, що робить платформу придатною як для підйому людей, так і важких агрегатів у виробничих цехах [65]. Геометрія рами й відкритий доступ до нижніх вузлів дозволяють без суттєвих змін установити колеса з фіксаторами до головок кранових рейок. Після такої модернізації платформа зберігає наявну гідравлічну частину, але отримує горизонтальну мобільність уздовж мостового крана, фактично перетворюючись на класичний монтажний майданчик з усіма перевагами рельсового руху, та завдяки підвищеній вантажопідйомності використовувати її для тимчасового підпирання аварійних конструкцій.

Самохідні мобільні платформи по рейках кранових шляхів – ця категорія включає спеціальні моторизовані одиниці, призначені для пересування по рейках підкранових шляхів або по мостовому прольоту з робочими майданчиками та допоміжним монтажним обладнанням (Рис.1.3, б). У порівнянні з простими візками з ножичним підйомником чи відкидними платформами ці системи мають багатофункціональні робочі зони, часто обладнані допоміжними портативними кранами, тальними механізмами, висувними консолями для монтажу та демонтажу

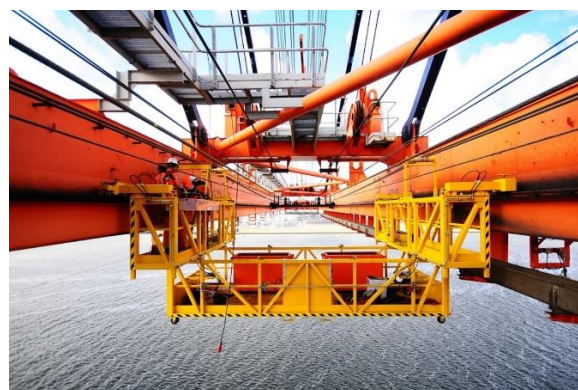
конструкції. Може транспортуватися у контейнері. Основний принцип застосування – це обслуговування портових козлових кранів без їх відриву від виробничих процесів [66-67].

Інтегровані підйомні платформи на кранах спеціального призначення

У класі спеціалізованих мостових (полярних) кранів, які використовуються в атомній енергетиці, підйомні платформи інтегровані на етапі проектуванням в сам кран. Замість окремих підйомників такі платформи поєднують з візком крана. Наприклад, полярні крани в машинних залах АЕС оснащуються телескопічними оглядовими люльками, які дозволяють обстежувати внутрішню поверхню купола реактора, не застосовуючи зовнішнє обладнання. Окрім того, у складі такого візка можуть передбачатися допоміжні поворотні стріли для заміни вузлів самого крана чи підйому негабаритного обладнання [68] (Рис. 1.3, в).



а)



б)



в)

Рисунок 1.3. а) підйомна платформа «Форстор», б) самохідна мобільна платформа; в) полярний кран в машинному залі АЕС

Отже, порівняльний аналіз механізованих систем доступу показав, що рейкові монтажні платформи від простих візків із ножичним підйомником до

самохідних багатофункціональних модулів здатні значно скоротити тривалість відновлювальних робіт, забезпечуючи при цьому високу стійкість і мінімальне втручання в робочу зону цеху або порту. Саме ці властивості роблять їх конкурентоспроможною альтернативою громіздким рамним риштуванням і колісним мобільним підйомним робочим платформам.

Водночас широке використання таких монтажних майданчиків не можливе через: значну кількість моделей мостових кранів, складний монтаж на висоті, обмежену вантажопідйомність ножичних механізмів і важкість подачі будівельних матеріалів, необхідність розробки додаткового устаткування для ефективної експлуатації. Тому розвиток стандартизованих конструкцій, розробка методик використання монтажних майданчиків є актуальним і недостатньо дослідженим напрямом, що потребує подальшого наукового опрацювання й практичного впровадження.

1.3. Аналіз наукових досліджень, вітчизняних та міжнародних державних актів

Сталий розвиток будівельної галузі передбачає не лише проєктування та зведення будівель і споруд, а й наявність методологічно опрацьованих процедур реагування на аварійні ситуації, наслідки яких можуть суттєво вплинути на їхню придатність до подальшої нормальної експлуатації. Відсутність уніфікованого алгоритму тимчасового підпирання у післяаварійний період зумовлює потребу у систематизованому аналізі чинного нормативно-правового поля, комплексному огляді наукових досліджень за напрямом та запозиченні зарубіжного досвіду. Особливу увагу становлять підходи до інтеграції принципів сталого розвитку у процес проєктування об'єктів нового будівництва та реконструкції, зокрема в рамках проєктів відновлення пошкодженої та зруйнованої інфраструктури з точки зору організаційних, технологічних, економічних, екологічних і інформаційно-цифрових (BIM) аспектів, щоб сформувати цілісну методологію швидкого, безпечного та ефективного відновлення пошкоджених споруд [69-75].

Зважаючи на значний масив наукових публікацій провідних фахівців галузі в Україні та за кордоном, особливу увагу приділено науковим здобуткам вчених Київського національного університету будівництва і архітектури (КНУБА) [77-79], а також окремих спеціалістів регіональних вищих навчальних закладів та Науково-дослідного інституту будівельного виробництва імені В.С. Балицького (НДІБВ) [76, 98-99], які формують методологічну основу дисертаційного дослідження.

Аналіз показав, що роботи можна розділити на два ключові напрями, кожен із яких робить вагомий внесок у формування організаційно-технологічної основи швидкого післяаварійного відновлення.

Інформаційне моделювання життєвого циклу будівель та споруд. Роботи з розроблення BIM-підходів до організаційно-технологічних рішень, інтеграції цифрових двійників і систем управління даними протягом експлуатації (автори: Тугай О. А. [82, 96], Поколенко В. О. [82, 96-97], Григоровський П.Є. [83, 98-99], Григоровський А.П. [83], Басанський В.О. [83, 98-99], Єсипенко А. Д., Дубинка О. В. [82, 100], Юреліоніс А. [83, 101-104], Осадча І. [83, 101-104]).

За результатами проаналізованих матеріалів особливо ілюстративною є стаття Тугая О. А., Поколенка В. О., Єсипенка А. Д. та Дубинки О. В. [82], яка пропонує покрокову дорожню карту впровадження BIM-концепції на українських будівельних підприємствах. Автори виокремлюють чотири логічні фази:

- 1) організаційно-правова підготовка (аналіз нормативів, формування BIM-стратегії),
- 2) пілотне проєктування окремих об'єктів із використанням відкритого формату IFC,
- 3) масштабування BIM-процесів на рівень портфеля замовлень і підрядних організацій,
- 4) інтеграція з системами управління життєвим циклом (CDE, цифровий двійник).

У статті наведено матриці ролей (BIM-менеджер, координатор, моделер), типові KPI (час узгодження креслень, частка невідповідностей, економія матеріалів) і розкрито економічний ефект: скорочення термінів проєктування на 20–

30 % та зниження похибок кошторису до 5%. Напрацьовані алгоритми можуть слугувати методичною базою для організаційно-технологічного планування реконструкції й післяаварійного відновлення, де швидка координація між моделлю й будівельним майданчиком критично важлива.

Серед опрацьованої літератури змістовною є робота колективу НДІБВ (Григоровський П., Осадча І., Басанський В., Григоровський А., Юреліоніс А.) [83], що пропонує методологію BIM-/інформаційно-математичного моделювання для оперативного вибору організаційно-технологічних рішень під час ліквідації аварійних руйнувань великих панельних будівель, пошкоджених унаслідок воєнних дій. У статті було:

- **сформовано базу типових схем руйнування** та інтегровано її у BIM-модель, що дає змогу автоматично генерувати оптимальний сценарій тимчасової стабілізації;
- **запропоновано методику масштабування результатів обстеження** від локальних зон до всієї будівлі, мінімізуючи потребу фізичного доступу до небезпечних ділянок;
- **доведено, що використання цифрової моделі** скорочує час ухвалення рішень і підвищує безпеку персоналу під час аварійно-відновлювальних робіт;
- **на прикладі будинку, пошкодженого газовим вибухом в Україні**, обґрунтовано процедуру оперативної оцінки технічного стану та визначення періодичності моніторингу після стабілізації.

Таким чином, опрацьовані дослідження переконливо доводять, що повноцінна інтеграція BIM-технологій – від стратегічної підготовки та пілотних моделей до цифрових двійників і автоматизованих сценаріїв аварійної стабілізації – суттєво пришвидшує ухвалення організаційно-технологічних рішень, знижує витрати й підвищує безпеку на всіх етапах життєвого циклу будівлі. Водночас залишаються недостатньо відпрацьованими регламенти застосування цих підходів до збірних залізобетонних промислових каркасів в умовах ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

Підвищення ефективності будівництва, реконструкції та ремонту (автори: Тугай О.А. [82] Осипов О.Ф. [78, 80, 81, 86, 87], Черненко К.В. [84], Шумаков І.В. [71-75, 88-90], Арутюнян І. А. [91, 94-95], Кравчуновська Т.С. [85, 92-93], Лека Д. Р. [86], Сигида В. О. [87], Гринчук О. А. [75], Чумаков А. Д. [75], Бугаєвський В. О. [71, 73-75]).

Стаття Черненко К. В. [84] подає експериментально обґрунтоване порівняння трьох технологій демонтажу крупнопанельних споруд – поелементного розбирання баштовим краном, знесення екскаваторами та роботи монтажно-технологічного мобільного комплексу (МТМК). Автор формулює алгоритм вибору методу з урахуванням реального ступеня пошкодження панелей, обмежень щільності міської забудови, допустимих рівнів шуму й пилу і потреби тимчасового підпирання; для МТМК наводить розрахункові параметри підкосів і розтяжок, які гарантують стабільність каркаса під час послідовного розбирання. На прикладі 10-поверхового будинку показано, що закритий контур МТМК знижує пиловиділення майже удвічі, а тривалість робіт скорочує на 25% порівняно з традиційним крановим методом.

Вагомий внесок зроблено монографією Кравчуновської Т. С. [85], яка присвячена комплексній реконструкції кварталів масової житлової забудови 1960-х – 1980-х років. Авторка систематизує вітчизняний та зарубіжний досвід, аналізує організаційно-технологічні чинники, які визначають доцільність «глибокої» реконструкції порівняно зі знесенням і новим будівництвом. Запропоновано:

- класифікацію технологічних схем підсилення збірних залізобетонних каркасів (обв'язувальні ядра, надбудови, заміна зовнішніх панелей);
- методи структурно-технічного обстеження із поетапним відселенням мешканців;
- модель поопераційного календарно-ресурсного планування з інтеграцією підйомно-транспортних механізмів, тимчасових підпірних систем і логістики вузьких міських майданчиків;
- економічну та екологічну оцінки реконструкції (зниження витрат матеріалу, скорочення термінів заселення, мінімізація вуглецевого сліду).

Наводяться розрахункові приклади для 9- та 12-поверхових будинків типових серій 1-464, 1-447 та БПС, рекомендації щодо послідовності робіт, схем підсилення фундаментів і улаштування нових інженерних мереж.

У статті О. Ф. Осипова, Д. Р. Лека [86] проаналізовано європейський досвід модернізації та санації 4-5-поверхових панельних будинків і обґрунтовано економічні межі доцільності реконструкції (вартість $\leq 70\%$ новобудови). Автори класифікують радикальність заходів – від перепланування квартир і прибудови еркерів до надбудови мансард та утеплення фасадів – і показують, що застосування комплексних рішень (утеплення + надбудова + перепланування) підвищує техніко-економічну ефективність і комфортність житла. Наведені зарубіжні приклади (Німеччина, Франція, Скандинавія) демонструють можливість адаптації методів до українських умов, що важливо для вибору організаційно-технологічних рішень при післяаварійному відновленні великопанельного фонду.

У публікації О. Ф. Осипова, Сигиди В. О. [87] розглянуто фактори вибору технологій демонтажу промислових каркасів у щільній міській забудові на прикладі машинобудівного комплексу в Києві. Автори детально описують поетапне знесення трьохпрогонової виробничої будівлі: ручне розкриття покрівлі, демонтаж залізобетонних плит, поярусне розбирання стін, послідовне вивезення відходів. Підкреслюється необхідність тимчасового укріплення елементів, мінімізації пилу та вібрацій і оптимального розташування кранів у вузьких проїздах. Запропонована послідовність і вимоги до механізації робіт (екскаватори-руйнувачі, інвентарні підкоси, домкратні системи) формують методичну базу для безпечного та ресурсоефективного демонтажу аварійних промислових об'єктів – аспект, напрямку релевантний дисертаційній темі ліквідації наслідків аварійних руйнувань збірних залізобетонних каркасів.

У монографії Шумакова І. В., Гринчука О. А., Чумакова А. Д., Бугаєвського В. О. [88] систематизовані методи вибору раціональних конструктивних, організаційних і технологічних рішень для зведення та реконструкції об'єктів на майданчиках зі складними геологічними чи міськими обмеженнями, описують підходи до ресурсно-часового планування у стислих умовах (логістика механізмів,

черговість демонтажу й підсилення), а також пропонують процедуру оцінки ризиків і вибору технологічних карт для мінімізації простою виробництва.

У працях І. В. Шумакова [71-75, 89-90] організаційно-технологічні рішення розглядаються як взаємопов'язана система конструктивних, технологічних, організаційних і ресурсних параметрів, що визначають можливість та ефективність виконання будівельних або відновлювальних робіт у складних умовах. Особливе значення мають дослідження, у яких обґрунтовується необхідність оптимізації параметрів конструктивних та організаційно-технологічних рішень, а також урахування технічних, організаційних і технологічних факторів, що впливають на тривалість процесів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань. Окремі роботи автора присвячені відновленню залізобетонних мостових споруд, що свідчить про застосування організаційно-технологічного підходу не лише до нового будівництва, а й до задач відновлення пошкоджених конструкцій. Це дає підстави розглядати наукові результати І. В. Шумакова як методично близькі до проблеми вибору раціональних організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань будівель і споруд.

Запропоновані алгоритми й моделі можуть використовуватися як методична база для швидкого післяаварійного відновлення. Вони допомагають регламентувати вибір схем тимчасового підкріплення, оптимізувати розподіл ресурсів і скоротити строки простою об'єктів за рахунок чітко структурованих організаційних процедур.

У статті Арутюнян І. А. та співавторів [91] проаналізовано, яким чином цифрові платформи BIM/ERP, інструменти Lean-планування та IoT-моніторинг можуть забезпечити безперервність і підвищити продуктивність будівельних робіт у воєнних умовах. Запропоновано алгоритм ресурсно-часової оптимізації, що враховує ризик обстрілів, нестачу матеріалів і кадрові обмеження. Наведені приклади продемонстрували скорочення часу ухвалення рішень на 20% і підвищення безпеки персоналу під час аварійно-відновлювальних робіт. Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції BIM-моделей і хмарних систем управління ресурсами у сценарії швидкого укріплення та реконструкції збірних

залізобетонних каркасів, що безпосередньо корелює з практичними завданнями дисертації.

Таким чином, огляд наукових праць охопив широкий спектр питань – від технологій демонтажу й комплексної реконструкції масових житлових серій до алгоритмів Lean-планування, BIM-моделювання та ресурсно-часової оптимізації робіт у кризових умовах. У сукупності ці дослідження формують вагомий методичний базис для вибору організаційно-технологічних рішень і тимчасового підкріплення під час ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Водночас аналіз виявив, що саме сегмент збірних залізобетонних промислових будівель з його специфічними конструктивними вузлами, великою прольотністю та жорсткими вимогами до безперервності виробництва досі залишається порівняно недостатньо дослідженим. Подальше удосконалення методик швидкого обстеження, вибору схем підсилення та оптимізації календарно-ресурсних графіків для таких об'єктів залишається актуальним завданням.

Далі у межах цього розділу здійснено порівняння національної та міжнародної документації, що регламентує реагування на аварійні ситуації. Спочатку розглянуто українські правові акти та галузеві стандарти, які визначають порядок аварійно-рятувальних заходів, офіційного технічного обстеження й подальшого підпирання, тимчасового підсилення чи відновлення конструкцій. Далі проаналізовано міжнародні стандарти й рекомендації, орієнтовані на швидку оцінку пошкоджених споруд, оцінку експлуатаційної придатності та граничні значення деформацій. Такий підхід дає змогу виявити прогалини між етапом первинних рятувальних робіт та стадією детального проєктного відновлення, коли необхідне оперативне, але обґрунтоване ухвалення рішень щодо підпирання та тимчасового підсилення.

Особливу увагу приділено принципу структурованого анкетування, закладеному в міжнародних керівництвах з детального обстеження споруд. Він слугує універсальним інструментом для систематизації даних обстеження й трансформації їх у конкретні технічні дії. Виявлено, що інтеграція цього підходу з національними категоріями технічного стану конструкцій і споруд та комплексом

технологій підпирання дозволяє сформувати основу для єдиної системи рішень, орієнтованої на промислові збірні залізобетонні каркаси у період післяаварійної невизначеності.

Чинна українська система норм і правил демонструє послідовну ієрархію документів, які охоплюють державне реагування на надзвичайні ситуації, обов'язкове технічне обстеження пошкоджених об'єктів та вимоги щодо їх відновлення. На законодавчому рівні основу становить Кодекс цивільного захисту України [105], що встановлює рамки організації аварійно-рятувальних робіт і визначає момент передачі об'єкта від рятувальників до спеціалізованих інженерних організацій. Його положення деталізуються Постановою КМУ № 257 про порядок проведення обстеження зданих в експлуатацію споруд [106] та Постановою КМУ № 473 щодо невідкладних робіт після аварій. [107].

Після завершення невідкладних протиаварійних заходів першочергово необхідна методична база будівельної галузі, яка формалізує процедури обстеження та класифікації технічного стану конструкцій. Методика, затверджена наказом Мінрегіону № 144 [108], вводить уніфікований підхід до фото-фіксації та опису дефектів, а ДСТУ 9273:2024 [109] призначає категорії технічного стану. Обидва документи орієнтовані насамперед на обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану і не задають алгоритму оперативного підбору засобів підпирання та тимчасового підсилення.

ДСТУ Б В.3.1-2:2016 регламентує основні вимоги та конструктивно-технологічні рішення щодо ремонту і підсилення несучих та огорожувальних конструкцій і основ будівель та споруд [110], а ДСТУ 9288:2024 встановлює загальні вимоги до організації і технології ремонту, підсилення та відновлення будівельних об'єктів [111]. ДБН В.1.2-14:2018 визначає загальні принципи забезпечення надійності й конструктивної безпеки, передбачаючи заходи щодо запобігання розвитку аварійних ситуацій, локалізації їх наслідків та недопущення прогресуючого руйнування [112]. Окремими нормативно-правовими актами регламентовано також порядок обстеження пошкоджених об'єктів та виконання невідкладних робіт [107, 108]. Разом із тим зазначені документи переважно

встановлюють вимоги до окремих етапів реагування, оцінювання технічного стану та подальшого відновлення і не містять комплексного організаційно-технологічного інструментарію вибору раціональної послідовності та способу виконання робіт безпосередньо в умовах аварійного руйнування з урахуванням дефіциту вихідної інформації, часових і ресурсних обмежень.

Попередньо перелічені документи визначають порядок дій: 1) уточнення пошкоджень, 2) проведення технічного обстеження, 3) виконання проєкту підсилення, але не формують цілісної процедури швидкого та обґрунтованого вибору тимчасових підпираль промислових збірних залізобетонних каркасів у період прийняття офіційних рішень (період невизначеності).

Міжнародні стандарти та нормативно-методичні документи у цій сфері зосереджені переважно на оцінюванні надійності та безпеки конструкцій розрахунковими методами, розгляді аварійних розрахункових ситуацій, визначенні технічного стану існуючих споруд та обґрунтуванні заходів щодо забезпечення живучості конструктивних систем і запобігання непропорційному руйнуванню [23, 114, 115]. Окремий напрям нормативного регулювання становить оцінювання та підсилення існуючих будівель при сейсмічних впливах, що регламентується EN 1998-3:2025 та ASCE/SEI 41-23 [116, 117].

Для оперативного післяаварійного оцінювання безпечності будівель у міжнародній практиці застосовуються підходи, узагальнені у керівництві FEMA P-2055 [118], а також документи ATC-20-1 та ATC-45 [119, 120]. Вони передбачають проведення швидкого та, за необхідності, детального оцінювання пошкоджених будівель із використанням уніфікованих форм і встановленням режиму їх подальшого використання за категоріями INSPECTED, RESTRICTED USE та UNSAFE, що позначаються відповідно зеленими, жовтими та червоними інформаційними табличками. Основним результатом такого оцінювання є визначення можливості подальшого використання будівлі, обмеження доступу та необхідності проведення більш детального інженерного обстеження. Водночас зазначені документи не регламентують процедуру вибору, розрахунку та реалізації

конкретних систем тимчасового підпирання або стабілізації пошкоджених конструкцій.

Окремий напрям нормативного забезпечення становлять документи щодо оцінювання поведінки конструкцій за дії вибухових навантажень. ASCE/SEI 59-22 встановлює вимоги до визначення вибухових впливів, розрахункового аналізу конструкцій та критеріїв допустимої реакції окремих елементів, зокрема за показниками пластичності, поворотів і деформацій [121]. При цьому документ орієнтований переважно на оцінювання та забезпечення вибухостійкості будівель і не визначає організаційно-технологічних рішень щодо оперативної стабілізації вже пошкоджених конструкцій.

Таким чином, зарубіжні нормативні та методичні джерела містять структуровані процедури післяаварійного оцінювання будівель, критерії визначення їх безпечності, технічного стану та допустимої реакції окремих конструктивних елементів. Водночас проаналізовані документи не містять комплексного алгоритму оперативного вибору, розрахункового обґрунтування та реалізації конкретних систем тимчасового підпирання або інших протиаварійних заходів. Використання принципів структурованого оцінювання пошкоджень, викладених у міжнародних керівництвах, у поєднанні з установленими в Україні категоріями технічного стану та пошкоджень об'єктів може бути використано як основа для формування комплексного алгоритму вибору першочергових заходів з ліквідації наслідків аварійних ситуацій у збірних залізобетонних каркасах промислових будівель.

Чинна українська нормативна база регламентує проведення обстеження пошкоджених об'єктів, визначення їх технічного стану, планування невідкладних протиаварійних робіт, консервації, часткового демонтажу та подальшого відновлення. Разом із тим недостатньо деталізованими залишаються питання оперативного вибору конкретного способу виконання першочергових протиаварійних заходів, визначення раціональної послідовності їх реалізації та врахування при цьому часових, ресурсних і технологічних обмежень.

Розроблювана ДП «НДІБВ» «Настанова з тимчасового укріплення аварійних об'єктів, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів» [122] спрямована на нормативно-методичне забезпечення проміжного етапу між завершенням першочергових аварійно-рятувальних та невідкладних робіт і реалізацією проектних рішень з відновлення об'єкта. Її застосування має забезпечити обґрунтований вибір і виконання тимчасових заходів, необхідних для безпечного проведення обстеження, запобігання подальшому розвитку пошкоджень та підготовки об'єкта до наступних етапів відновлення.

Документ пропонує повну класифікацію позапроектних впливів, типів будівель, пошкоджень і завалів, що поєднується з алгоритмом моделювання організаційно-технологічних рішень. Ключовим елементом настанови є модульна база даних технічних рішень: до кожної категорії руйнувань прив'язано варіанти тимчасового підкріплення (системи підпор, інвентарні стійки, рамні конструкції), оцінені за тривалістю, трудовитратами та вантажопідйомністю. Запропонований порядок інтегрує збір вихідних даних, побудову ідеалізованої моделі будівлі, прогнозування трудомісткості методами PERT/Monte Carlo та інструментальний моніторинг ефективності укріплень, тобто фактично формує «місток» між первинним обстеженням і розробкою робочого проекту.

Помітний внесок у методичне наповнення цієї галузі зроблено дисертаційною роботою А. П. Григоровського [123], присвяченою великопанельним будівлям житлового фонду. Автор запропонував інформаційно-математичну модель, що спирається на базу даних типових руйнувань і варіативних схем підкріплення, а також окреслив алгоритм вибору оптимальної технології ліквідації з урахуванням трудових витрат і ризику повторного руйнування. Хоча дослідження орієнтоване насамперед на житлові будівлі, його результати демонструють можливість використання анкетного підходу й багатокритеріальної оптимізації для швидкого структурування вихідних даних у післяаварійний період.

Серед інших фахових джерел варто згадати відомчі методичні рекомендації ДСНС щодо аварійного підпирання та стабілізації конструкцій й експертні карти технічних рішень, що акумулюються в рамках пілотного веб-порталу ДП «НДІБВ»

(Рис.1.4). Однак ці матеріали носять фрагментарний характер: вони містять каталоги підпор і приклади монтажних операцій без інтеграції у повний організаційно-технологічний цикл.

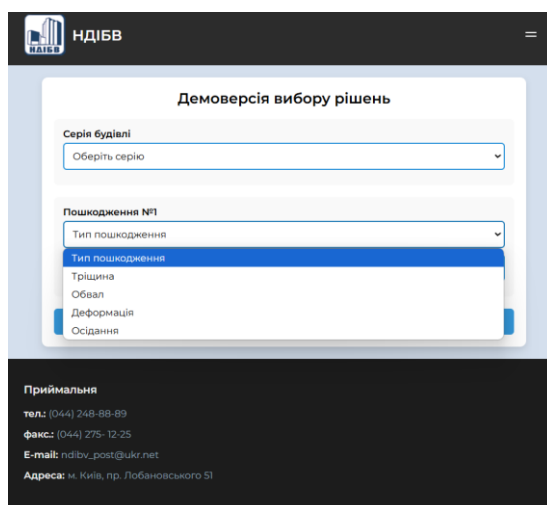


Рисунок 1.4 Інтерфейс веб-порталу ДП НДІБВ

Зіставлення наукових і відомчих напрацювань показує, що найбільш опрацьованими залишаються блоки класифікації пошкоджень і бібліотеки стандартних підпирань, тоді як зведення цих компонентів у єдину процедуру ухвалення рішень досі перебуває на стадії апробації. Саме тому досвід Настанови ДП «НДІБВ» та підходи, запропоновані у дисертації А. П. Григоровського, розглядаються як передумови для побудови інтегрованої системи, що забезпечить швидкий і обґрунтований вибір технології тимчасового укріплення промислових збірних залізобетонних каркасів у період післяаварійної невизначеності.

У поточній системі існує методичний розрив між завершенням аварійно-рятувальних заходів та стадією відновлення згідно розробленої проєктної документації:

- а) відсутній узгоджений алгоритм вибору тимчасових підпирань;
- б) немає єдиної бази типових технічних рішень;
- в) не визначено трудовитрати та логістику, необхідні для оперативного проведення робіт з підпирання пошкоджених конструкцій (період невизначеності).

Подолати зазначені невисвітлені аспекти може лише інтегрована цифрова система, що поєднає:

- структуроване анкетування для швидкого збору вихідних даних (рекомендовано заповнення в процесі виконання технічного обстеження);
- оновлювану базу типових руйнувань (заповнюється експертами з технічного обстеження);
- оновлювану базу методів тимчасового підпирання та відновлення (оформлюється проектними організаціями);
- математичний модуль вибору оптимального рішення з урахуванням категорії технічного стану і ресурсних обмежень;
- попередній аналіз ситуації, що склалася. Оцінка трудовитрат при існуванні аналогічних робіт в базі або рекомендовано проводити оцінку PERT/Monte Carlo для робіт, відсутніх в базі.

Саме такий цифровий алгоритм здатен трансформувати розрізнені нормативні вимоги у послідовну процедуру: від попереднього обстеження й підготовки варіантів підпирання до вибору найбільш ефективного та безпечного рішення для промислових збірних залізобетонних каркасів у період після аварійної невизначеності.

Для визначення місця чинного нормативного забезпечення України у загальній системі післяаварійного реагування доцільно зіставити його з положеннями міжнародних стандартів і зарубіжних методичних документів, що регламентують оцінювання технічного стану, врахування аварійних впливів, запобігання непропорційному руйнуванню, а також виконання ремонтно-відновлювальних заходів. Таке порівняння дає змогу встановити, які етапи післяаварійного циклу охоплено найбільш повно, які підходи застосовуються до оперативного оцінювання пошкоджених об'єктів та вибору подальших дій, а також визначити аспекти, що залишаються недостатньо регламентованими щодо вибору та реалізації організаційно-технологічних рішень. Узагальнені результати порівняльного аналізу українських і зарубіжних нормативних та методичних джерел наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2

**Порівняльний аналіз нормативного забезпечення післяаварійного
обстеження та відновлення будівель і споруд**

Напрямок регулювання	Україна	Зарубіжні документи	Що регламентовано	Обмеження щодо предмета дослідження
Невідкладне реагування після пошкодження	Кодекс цивільного захисту України [105]; Постанова КМУ № 473 від 19.04.2022 [107]	FEMA P-2055 [118]; АТС-20-1 [119]; АТС-45 [120]	Організація першочергових заходів; первинне оцінювання безпеки; обмеження доступу та експлуатації; документування результатів огляду.	Не формують комплексної процедури вибору та реалізації тимчасового підпирання пошкодженого промислового каркаса.
Обстеження та оцінювання технічного стану	Методика, затв. наказом Мінрегіону № 144 від 06.08.2022 [108]; Постанова КМУ № 257 від 12.04.2017 [106]; ДСТУ 9273:2024 [109]	ISO 13822:2010 [115]; ISO 16311-2:2024 [124]	Послідовність обстеження; виявлення пошкоджень; оцінювання технічного стану, придатності та необхідності подальших заходів.	Основним результатом є оцінка стану та рекомендації; оперативний вибір технології тимчасової стабілізації не є центральним предметом регулювання.
Надійність, аварійні впливи та запобігання непропорційному руйнуванню	ДБН В.1.2-14:2018 [112]; ДСТУ 9294:2024 [113]	ISO 2394:2015 [114]; EN 1991-1-7:2025 [23]	Загальні принципи надійності; аварійні розрахункові ситуації; забезпечення живучості конструктивної системи; обмеження розвитку локального руйнування.	Переважно розрахунково-проектний рівень; не визначають технологію виконання невідкладних робіт на вже пошкодженному об'єкті.
Ремонт, підсилення та відновлення	ДСТУ Б В.3.1-2:2016 [110]; ДСТУ 9288:2024 [111]	ISO 16311-1:2024 [124]	Організаційні, конструктивні та технологічні вимоги до ремонту, підсилення й відновлення будівельних конструкцій.	Орієнтовані переважно на формування та реалізацію ремонтно-відновлювальних рішень, а не на оперативний вибір тимчасових заходів

Напрямок регулювання	Україна	Зарубіжні документи	Що регламентовано	Обмеження щодо предмета дослідження
				безпосередньо після аварії.
Спеціалізоване оцінювання та відновлення після окремих видів впливів	Спеціальні норми залежно від виду впливу	EN 1998-3:2025 [116]; ASCE/SEI 41-23 [117]; ASCE/SEI 59-11 [125]	Оцінювання та відновлення після сейсмічних впливів; вимоги до проектування та оцінювання конструкцій за дії вибухових та інших спеціальних впливів.	Обмежені конкретним видом впливу та не утворюють універсальної післяаварійної процедури для промислових збірних залізобетонних каркасів.
Оперативне післяаварійне оцінювання безпечності	Методика, затв. наказом Мінрегіону № 144 від 06.08.2022 [108]; окремі положення Постанови КМУ № 473 [107]	FEMA P-2055 [118]; ATC-20-1 [119]; ATC-45 [120]	Швидке обстеження; класифікація безпечності; визначення режиму доступу та використання; уніфіковане документування.	Після встановлення стану об'єкта вибір конкретного способу тимчасової стабілізації значною мірою залишається інженерним завданням.

Опрацьований обсяг нормативних джерел і наукових публікацій демонструє вагомий прогрес у сферах BIM-моделювання, технологій демонтажу та комплексної реконструкції. Українські та зарубіжні документи охоплюють окремі стадії післяаварійного циклу – невідкладне реагування, обстеження, оцінювання надійності, проектування підсилення та відновлення. Водночас вони не утворюють єдиного організаційно-технологічного механізму оперативного вибору, обґрунтування та реалізації тимчасових заходів стабілізації аварійно пошкоджених збірних залізобетонних каркасів промислових будівель.

Технічні та організаційно-технологічні рішення (вибір інвентарних стійок, оцінка трудовитрат, інтеграція анкетного опитування з базами типових рішень) потребують подальшого дослідження, що робить розглянуту тему актуальною. Розроблення інтегрованої цифрової системи, здатної об'єднати розрізнені нормативні вимоги в послідовну систему швидкого, ефективного та безпечного

тимчасового підпирання промислових збірних залізобетонних каркасів, залишається мало вивченим напрямом і формує наукову новизну подальших досліджень.

1.4. Мета та задачі дослідження

Аналіз досвіду ліквідації наслідків аварійних руйнувань та узагальнення наукових публікацій свідчать, що найбільш уразливою ланкою залишається період між завершенням аварійно-рятувальних робіт і початком детального проєктного відновлення. У цей проміжок рішення щодо тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій промислових збірних залізобетонних каркасів приймаються в умовах дефіциту даних, обмеженості часу й ресурсів, унаслідок цього підпирання іноді взагалі не виконується: ушкоджені елементи залишають без розвантаження, спираючись лише на візуальне припущення щодо їхньої залишкової несучої здатності, що суттєво підвищує ризик повторної втрати стійкості. Відсутність цілісного алгоритму, який поєднував би структуроване анкетування, базу типових руйнувань, каталог інвентарних укріплень і ресурсно-часову оптимізацію, зумовлює затримки, підвищені витрати та ризик повторного обвалення. Саме ця методична прогалина стає визначальним об'єктом дослідження. Проблемним питанням у цьому контексті є те, як оперативно та обґрунтовано вибирати й логістично реалізовувати тимчасове підпирання збірних залізобетонних каркасів промислових будівель у період між аварійно-рятувальними роботами та детальним проєктним відновленням за умов дефіциту вихідних даних, часу й ресурсів.

Робоча гіпотеза полягає в тому, що *інтегрована інформаційно-математична модель*, побудована на зібраних емпіричних даних про аварійні руйнування, типові схеми підкріплення та узгоджені рівні працездатності – українські к.т.с.-1 – к.т.с.-4 і міжнародні IO-LS-CP, дозволить автоматично генерувати та порівнювати альтернативні варіанти тимчасового підпирання з урахуванням трудовитрат, тривалості та ризику прогресуючого руйнування. В українській нормативній практиці технічний стан будівельних конструкцій та об'єктів характеризують чотирма категоріями технічного стану: к.т.с.-1 – нормальний; к.т.с.-2 – задовільний;

к.т.с.-3 – непридатний до нормальної експлуатації; к.т.с.-4 – аварійний. У міжнародній практиці оцінювання сейсмічної поведінки існуючих будівель, зокрема відповідно до ASCE/SEI 41, застосовують рівні експлуатаційних характеристик конструкцій: IO (Immediate Occupancy – негайна експлуатація), LS (Life Safety – безпека життя) та CP (Collapse Prevention – запобігання обваленню) [117].

Такий інструмент, доповнений методами PERT / Monte Carlo для оцінки невизначеностей, забезпечить швидкий і обґрунтований вибір технології ліквідації наслідків навіть за фрагментарних вихідних даних.

У дослідженнях організаційно-технологічних процесів будівництва для врахування невизначеності тривалості, трудомісткості та продуктивності виконання робіт застосовуються ймовірнісні методи, зокрема PERT та імітаційне моделювання Monte Carlo. Такі підходи дають змогу замість фіксованих значень вихідних параметрів використовувати їх імовірнісні розподіли та визначати можливий діапазон тривалості виконання робіт і ризик відхилення від запланованих строків [126-130].

Метою роботи, сформульованою в межах зазначеної гіпотези, є підвищення ефективності післяаварійних робіт у промислових збірних залізобетонних каркасах шляхом розроблення та верифікації інформаційно-математичного алгоритму, що мінімізує тривалість і витрати без зниження рівня безпеки. Для вирішення мети роботи сформовано комплекс завдань, серед яких:

- удосконалення процедури проєктування тимчасових підпирів на основі інформаційно-математичного моделювання,
- оновлення структури методу відновлення з інтеграцією баз даних та оптимізаційних сценаріїв PERT/Monte Carlo,
- апробація розробленого алгоритму на промислових об'єктах із подальшим впровадженням результатів у нормативно-методичну практику ДП «НДІБВ» та спеціалізованих проєктно-будівельних організацій.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Через підвищення інтенсивності роботи промисловості значною мірою збільшилися ризики виникнення негативних наслідків аварійних ситуацій. Аварійні ситуації можуть спричиняти пошкодження основних несучих конструкцій підприємств, що в свою чергу призводить до зупинок виробництва та викликає потребу у швидкому відновленні конструкцій промислових будівель.

2. Аналіз досвіду використання будівельної оснастки та монтажних засобів показав, що механічні засоби для виконання відновлювальних робіт знаходяться на високорозвиненому рівні. Однак використання стандартних засобів потребує додаткового часу на підготовку місця для встановлення та монтажу. У зв'язку з чим виникає необхідність в удосконаленні існуючих організаційно-технологічних рішень для виконання робіт з тимчасового підпирання та відновлення основних несучих конструкцій промислових будівель з метою скорочення термінів виконання відновлювальних робіт.

3. Проаналізувавши стан вивченості питання тимчасового підпирання та відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель в галузі та в науковій літературі, необхідно відмітити високий рівень напрацювань у методах відновлення основних несучих конструкцій. Однак збільшення кількості позапроектних впливів призводить до пошкоджень, які недостатньо опрацьовані і потребують додаткового аналізу та удосконалення існуючих принципів тимчасового підпирання та відновлення основних несучих конструкцій будівель.

4. Підсумовуючи, необхідно відмітити доцільність удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових будівель для зменшення тривалості відновлення пошкоджених конструкцій, а таким чином і зменшення простою критично важливих підприємств.

РОЗДІЛ 2.

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ

2.1. Методика та методи дослідження

Методика дисертаційного дослідження сформована відповідно до мети роботи, об'єкта, предмета та завдань дослідження і ґрунтується на поєднанні теоретичних, емпіричних, загальнологічних та прикладних методів. Вихідним положенням є розуміння науково-дослідної діяльності як цілісного процесу пізнання, у якому взаємопов'язано поєднуються аналіз наявних знань, вивчення фактичних даних, логічне опрацювання результатів та їх подальше практичне використання. Такий підхід є необхідним для дослідження аварійних руйнувань промислових будівель як складного явища, де технічний стан конструкцій, характер пошкоджень, організація робіт, ресурси, обмеження в часі та умови безпеки утворюють єдину систему.

Методологічна побудова роботи спирається на взаємопов'язаність кількох рівнів наукового дослідження: філософського, загальнонаукового, конкретно-наукового та прикладного. На філософському рівні використано діалектичний підхід [132, 133], який дозволяє розглядати процес ліквідації наслідків аварійних руйнувань у розвитку, у взаємозв'язку причин і наслідків, зовнішніх проявів пошкоджень та їх сутнісних характеристик. На загальнонауковому рівні провідним є системне бачення предмета дослідження, за якого організаційно-технологічні рішення розглядаються як комплекс взаємодіючих елементів, підпорядкованих спільній меті – скороченню тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань і відновленню експлуатаційної придатності об'єкта. На прикладному рівні зазначені положення реалізовано через добір методів, що забезпечують перехід від аналізу аварійної ситуації до вибору раціонального варіанта відновлювальних робіт.

У роботі застосовано міждисциплінарний підхід [135, 137], оскільки розв'язання поставленої науково-прикладної задачі потребує інтеграції положень технології будівництва, організації будівництва, експлуатаційної надійності,

протиаварійного підсилення та інформаційного моделювання. Такий підхід дав змогу поєднати класифікацію аварійних ситуацій, оцінювання факторів впливу, вибір технічних і технологічних рішень та побудову інформаційно-математичної системи оптимізації підпирання.

Одним із базових у дисертації є історичний підхід [132-134]. Його використано під час аналізу розвитку засобів і способів ліквідації наслідків аварійних руйнувань, еволюції будівельної оснастки, монтажних засобів і тимчасових систем підпирання, а також змін у наукових і нормативних підходах до відновлення пошкоджених промислових будівель. Це дозволило виявити зміну технологічних рішень, окреслити обмеження традиційних підходів та обґрунтувати доцільність удосконалення існуючих організаційно-технологічних рішень. Поряд з історичним застосовано термінологічний підхід [136], який був необхідний для уточнення понятійно-категоріального апарату дослідження та забезпечення однозначного використання ключових понять, зокрема таких, як «аварійне руйнування», «організаційно-технологічне рішення», «протиаварійне підсилення», «типове руйнування», «критерій вибору рішення».

Ключову роль у роботі відіграє системний підхід [139]. Процес ліквідації наслідків аварійних руйнувань має ознаки складної системи: включає множину елементів, різнотипні зв'язки між ними, ієрархію рішень, змінність умов виконання робіт і залежність від ресурсів, технічного стану конструкцій та часових обмежень. Використання системного підходу дозволило: виокремити основні складові об'єкта дослідження; описати внутрішні та зовнішні зв'язки між ними; встановити ієрархію факторів і критеріїв; побудувати структуру інформаційно-математичної системи; сформулювати логіку переходу від діагностування ситуації до вибору раціонального рішення. У роботі поєднано структурний аналіз системи з функціональним аналізом її поведінки в умовах обмеженого часу та невизначеності.

Емпірична складова методики базується на методах спостереження, опису, порівняння, вимірювання та узагальнення фактичних даних [131, 133, 134]. Спостереження застосовувалося під час вивчення характерних типів пошкоджень і

руйнувань промислових будівель, умов доступу до зони виконання робіт, можливостей використання наявних монтажних і вантажопідіймальних засобів, а також ознак, що впливають на прийняття рішень щодо тимчасового або постійного підпирання. Опис забезпечив систематизовану фіксацію отриманих даних, а вимірювання та порівняння – зіставлення альтернативних рішень за часовими, конструктивними, технологічними й організаційними параметрами. Узагальнення фактичного матеріалу стало підґрунтям для формування типових груп руйнувань і типових груп технічних рішень.

У межах дослідження використано також поєднання експериментальних і розрахункових методів [140], коли окремі варіанти протиаварійного підсилення та способи організації відновлювальних робіт перевірялися у спеціально заданих умовах або на розрахункових моделях. Це дало змогу встановити вплив окремих факторів на ефективність рішення ще до його практичного впровадження та оцінити працездатність обраного варіанта у межах заданих обмежень.

Для теоретичного опрацювання матеріалу застосовано загальнологічні методи аналізу, синтезу, індукції, дедукції, абстрагування, узагальнення та класифікації [131-134]. Аналіз використовувався при розбитті загальної проблеми на окремі складові: види аварійних руйнувань, наслідки аварійних ситуацій, фактори впливу на тривалість робіт, критерії вибору рішень, технічні й організаційні рішення. Синтез застосовано під час об'єднання окремих результатів у цілісну концепцію інформаційно-математичного забезпечення вибору рішень. Індукція дала можливість перейти від вивчення окремих прикладів до формування узагальнених висновків і типових моделей, а дедукція – перевірити загальні положення на конкретних випадках відновлення пошкоджених конструкцій. Абстрагування дозволило виділити найбільш істотні параметри процесу, а класифікація і узагальнення – систематизувати типові руйнування, критерії оцінювання та базу організаційно-технологічних рішень.

Особливе місце у дисертації посідає моделювання аварійних ситуацій за допомогою програмних комплексів SCAD-Office, ANSYS, LIRA-SAPR на основі методу скінчених елементів, який використано для формування ідеальної моделі

об'єкта дослідження, розроблення концепції інформаційного моделювання протиаварійного підсилення та побудови організаційно-технологічних моделей ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Моделювання виконувало не лише ілюстративну, а й конструктивно-аналітичну функцію, оскільки дозволило відтворити логіку вибору рішень, перевірити зв'язки між параметрами системи, оцінити реакцію моделі на зміну вихідних умов і створити основу для алгоритмізації процесу вибору.

З огляду на багатоваріантність і неповну формалізованість аварійних ситуацій у роботі використано евристичні методи [135], насамперед при формуванні та адаптації варіантів протиаварійного підсилення до конкретних умов промислового об'єкта. Евристичний компонент методики був важливим у тих випадках, коли прийняття рішення вимагало поєднання алгоритмічних процедур, аналізу аналогів, фахового судження та інженерної інтуїції. Саме це забезпечило можливість не тільки описувати наявні рішення, а й формувати нові або адаптовані варіанти для нестандартних умов виконання робіт.

Для визначення відносної значущості факторів і критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань, у роботі використано метод експертного ранжування [138]. Його застосування дозволило впорядкувати сукупність чинників за ступенем впливу на процес вибору рішення та закласти основу для подальшої побудови інформаційно-математичної системи. У поєднанні з аналітичними процедурами та експертним оцінюванням це забезпечило більш обґрунтований вибір тих параметрів, які мають визначальне значення для прийняття раціонального організаційно-технологічного рішення.

Інформаційно-аналітичні методи застосовані при формуванні баз даних типових руйнувань, технічних, технологічних та організаційних рішень, їх структуризації, кодуванні та інтеграції в єдину систему підтримки прийняття рішень. Ці методи забезпечили можливість переходу від опису аварійної ситуації до формалізованого добору найбільш доцільного варіанта її ліквідації.

Таким чином, методика дисертаційного дослідження побудована за принципом взаємодоповнюваності підходів і методів [131-140]. Діалектичний,

системний, історичний, термінологічний та міждисциплінарний підходи визначили загальну логіку дослідження; емпіричні методи забезпечили збір і впорядкування фактичного матеріалу; загальнологічні методи – його аналітичне опрацювання; моделювання, ранжування, евристичні та інформаційно-аналітичні процедури – перехід до розроблення прикладного інструментарію вибору організаційно-технологічних рішень. Сукупність цих методів відповідає меті, об’єкту, предмету й завданням дисертації та забезпечує цілісність, системність і логічну послідовність викладеного матеріалу, що є визначальними вимогами до дисертаційного дослідження.

2.2. Формування та дослідження критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань

У будівельних дослідженнях для обґрунтування рішень за наявності множини взаємопов’язаних критеріїв широко застосовуються методи експертного оцінювання у поєднанні з методом аналізу ієрархій (АНР) та його нечіткими модифікаціями (ФАНР). Їх використання дає змогу структурувати фактори, визначати їх вагомість, враховувати невизначеність експертних суджень і здійснювати порівняльне оцінювання альтернативних рішень [141-142].

З метою забезпечення скорочення термінів простою критично важливого підприємства та найшвидшого відновлення виробництва у даній роботі було використано інструментарій попереднього аналізу методів відновлення з урахуванням факторів невизначеності методом АНР.

Метод аналізу ієрархій використовують для пошуку рішень щодо побудови та застосування багатокритеріальних систем оцінювання. Він виник у 1970-х роках у США, протягом останніх трьох десятиліть був предметом багатьох методологічних досліджень, а також успішно використовувався для вирішення численних практичних проблем у галузі будівництва [143-144].

Засновником АНР є Томас Сааті, який, будучи професором у Бізнес-школі Уортона у Філадельфії на початку 70-х років, розробив методологічні основи концепції. Ширший інтерес до методу виник у 80-х роках після публікації книги

«Аналітичний ієрархічний процес» відомим видавництвом MCGRAW-Hill [145]. Метод виріс з міркувань загальної теорії систем, оскільки він є розвитком спроб надати формальний опис однієї з основних характеристик системи, яку Л. Берталанфі назвав «ієрархічним» порядком [146].

АНР можна визначити як процес ієрархізації системи з метою проведення широкомасштабної оцінки та остаточного вибору одного з альтернативних рішень певної проблеми. Метод також можна розуміти ширше як теорію вимірювання з використанням кількісних та/або якісних даних.

Метод АНР передбачає такі основні етапи:

1. Формулювання мети прийняття рішення.
2. Визначення критеріїв і побудова ієрархічної структури задачі.

Ієрархія складається з:

- Вершини – мета прийняття рішення.
- Середнього рівня – критерії (та підкритерії, якщо є).
- Нижнього рівня – альтернативні варіанти.

3. Збір експертних оцінок у формі попарного порівняння елементів ієрархії.

4. Розрахунок ваг (пріоритетів) для кожного з критеріїв та альтернатив. Створюється матриця попарних порівнянь, з якої обчислюють власний вектор (вектор пріоритетів), часто методом нормалізації або через власні числа.

5. Перевірка узгодженості експертних суджень. Обчислюється індекс узгодженості (CI) та коефіцієнт узгодженості (CR). Якщо $CR < 0.1$ – порівняння вважаються узгодженими.

6. Агрегація результатів – визначення найкращої альтернативи. Зважування пріоритетів на всіх рівнях ієрархії дає змогу знайти глобальні пріоритети альтернатив.

Для порівняння використовують шкалу Сааті, яка включає значення від 1 до 9 та обернені значення ($1/2$, $1/3$ і т.д.), які відображають інтенсивність переваги одного елемента над іншим.

У задачі пришвидшення (зменшення тривалості виконання) робіт з відновлення та ліквідації наслідків позапроектних впливів пошкоджених об'єктів, мета полягає у виборі найоптимальнішого способу виконання робіт.

Для проведення дослідження було застосовано модель FMCPs. Серед найвагоміших факторів відбору методів відновлення були взяті: технічні, організаційні та технологічні.

В загальному обрані фактори можна охарактеризувати, як:

- Технічні – фактори, пов'язані з матеріально-технічною базою будівництва, рівнем механізації, інженерними рішеннями.
- Організаційні – фактори, пов'язані з управлінням, координацією, плануванням та логістикою.
- Технологічні – фактори, пов'язані з особливостями самого будівельного процесу, вибраної технології, способів виконання робіт.

Для кожного фактору було обрано додаткове розділення на три групи: людські фактори, економічні фактори та фактори пов'язані з механізацією.

Структура розділення основних факторів наведена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 Фактори, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків впливів, не передбачених при проектуванні

В таблиці 2.1 представлено перелік запропонованих критеріїв для кожного обраного фактору.

Таблиця 2.1

Структура факторів та критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків впливів, не передбачених при проєктуванні

	Технічні фактори
<i>F1.1</i>	<i>Технічні (людські фактори)</i>
C1	Наявність повного технічного обстеження
C2	Повнота та якість проєктної документації
C3	Використання у проєкті інноваційних та нестандартних проєктних рішень
C4	Детальний моніторинг пошкоджених конструкцій (геодезична зйомка пошкоджених конструкцій, 3D сканування)
<i>F1.2</i>	<i>Технічні (економічні фактори)</i>
C5	Можливість використання будівельних матеріалів, що знаходяться на підприємстві
C6	Сортамент матеріалів, доступний на ринку
C7	Фактичний технічний стан конструкцій, що потребують відновлення
<i>F1.3</i>	<i>Технічні (фактори, пов'язані з механізацією)</i>
C8	Можливість виконання робіт лише малими засобами механізації (перфоратори відбійні молотки, лебідки)
C9	Можливість виконання робіт великими засобами механізації (екскаватори, будівельні крани, самоскиди)
C10	Можливість використання обладнання цехів (підйомні механізми, навантажувачі, засоби транспортування)
C11	Робочі характеристики будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах (вантажопідйомність, можливість комбінованого застосування з використанням змінного навісного обладнання)

C12	Технічний стан будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах
C13	Тип підприємства, що зазнав руйнування від дії позапроектних впливів (характер виробництва, розташування обладнання)
C14	Використання у проєкті досвіду попередніх робіт та загально прийнятих проєктних рішень
	Організаційні фактори
F2.1	<i>Організаційні (людські фактори)</i>
C15	Присутність кваліфікованої служби замовника
C16	Кваліфіковані будівельні бригади
C17	Детальний авторський нагляд
C18	Проходження експертизи проєктної документації
C19	Залучення до виконання робіт значної кількості підрядних організацій
C20	Постійна присутність на будівельному майданчику інженера, що може корегувати проєктні рішення
F2.2	<i>Організаційні (економічні фактори)</i>
C21	Наявність безперервного фінансування замовником
C22	Достатні оборотні кошти підрядника
C23	Віддаленість об'єкту від основних баз складування матеріалів
C24	Віддаленість об'єкту від місця можливого проживання робітників
F2.3	<i>Організаційні (фактори пов'язані з механізацією)</i>
C25	Дотримання термінів виконання проєктних рішень
C26	Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних проєктних рішень
C27	Автоматизація моніторингу для запобігання повторного руйнування
	Технологічні фактори
F3.1	<i>Технологічні (людські фактори)</i>
C28	Можливість виконання робіт паралельно
C29	Наявність достатньої кількості кваліфікованих робітників

C30	Необхідність залучення операторів спеціалізованої техніки
C31	Можливість безперервного виконання робіт (робота у 3 зміни)
F3.2	Технологічні (економічні фактори)
C32	Наявність у підрядника достатньої кількості власних засобів малої механізації
C33	Наявність у підрядної організації власної сировинної бази
C34	Кількість конструкцій, що потребують підпирання
C35	Необхідність виконання розбирання завалів
F3.3	Технологічні (фактори пов'язані з механізацією)
C36	Об'єми пошкодження будівлі
C37	Тип конструкцій, що пошкоджені (ферми, колони, плити)
C38	Місце розташування пошкодження в межах всього об'єму будівлі
C39	Форма завалів та об'єм завалів
C40	Присутність конструкцій, що підлягають додатковому демонтажу
C41	Тип пошкоджених конструкцій, що потребує підпирання
C42	Ускладнені умови виконання робіт великими засобами механізації (екскаватори, будівельні крани, самоскиди)
C43	Наявність можливості влаштування достатньої за розмірами зони виконання робіт
C44	Необхідність залучення спеціалізованого обладнання (крани більше 100т, перевезення великогабаритних вантажів)
C45	Доступ до інноваційного обладнання та методів відновлення

Джерело: розробка автора

На рис 2.2-рис.2.4 схематично наведено належність запропонованих критеріїв до кожного з обраних факторів.

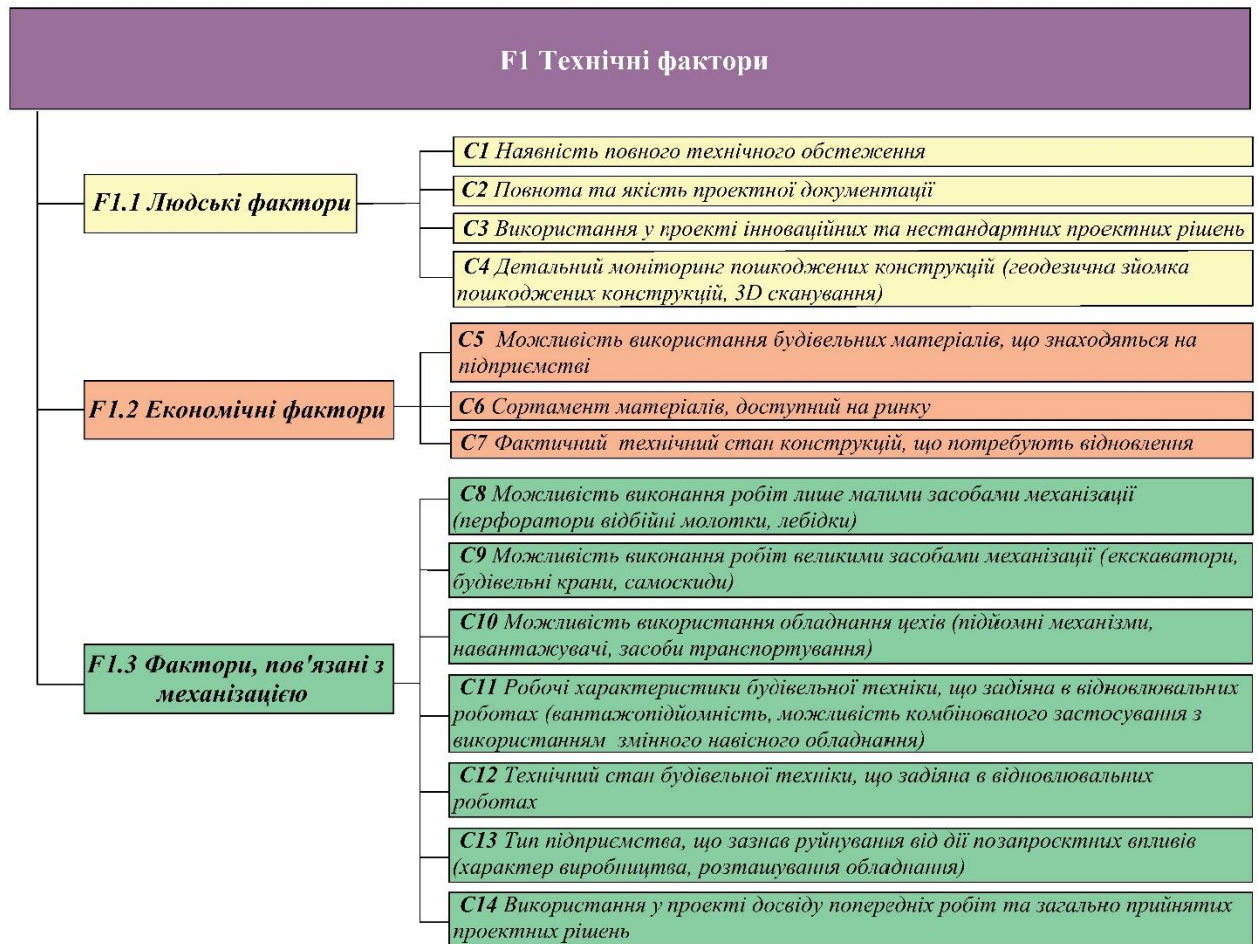


Рисунок 2.2 Структура розподілу критеріїв для Технічних факторів



Рисунок 2.3 Структура розподілу критеріїв для Організаційних факторів

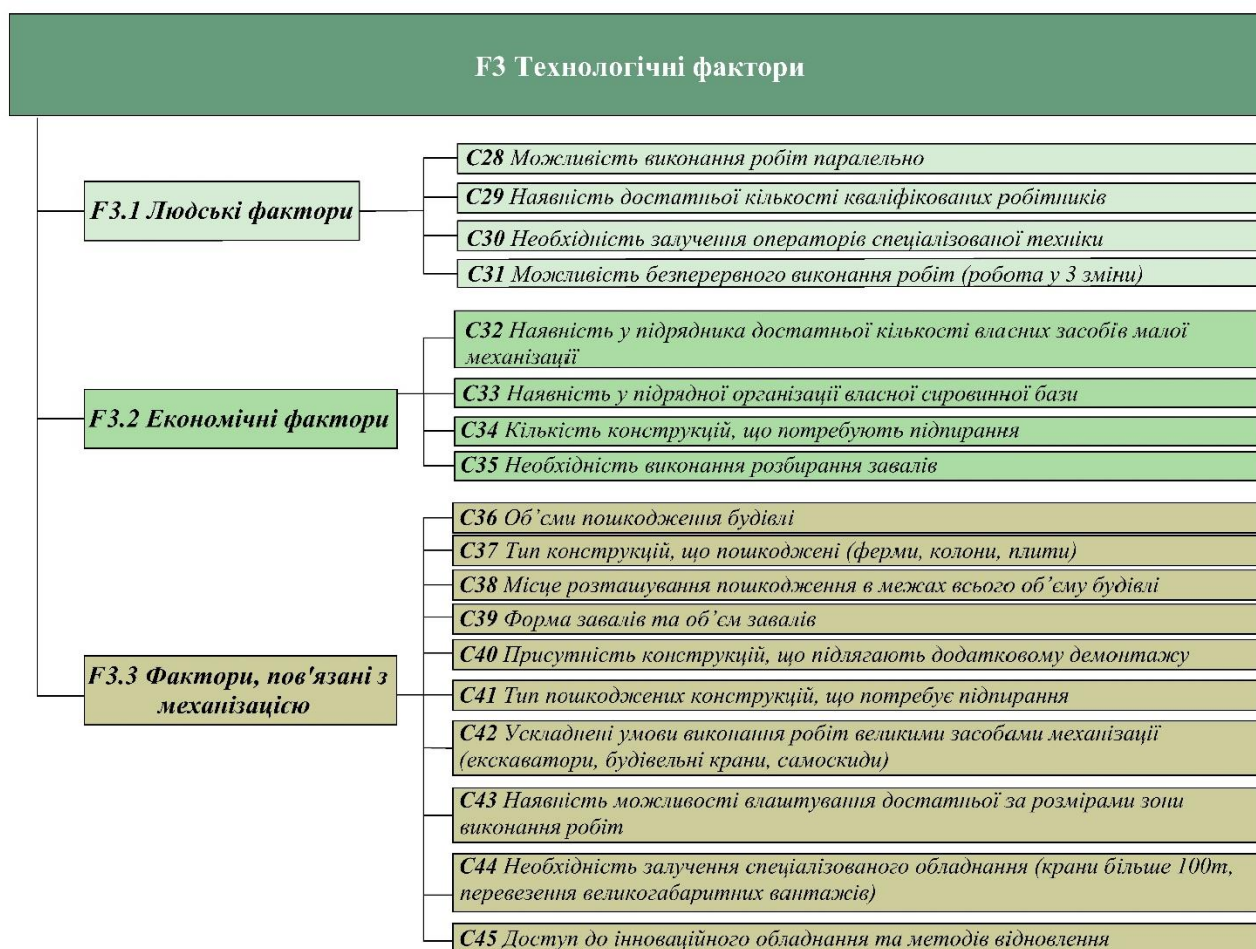


Рисунок 2.4 Структура розподілу критеріїв для Технологічних факторів

У Додатку В наведено анкету для проведення експертного опитування методом попарного порівняння для оцінювання зменшення тривалості робіт ліквідації наслідків позапроектних впливів кожного критерію з точки зору виконавця робіт з відновлення об'єктів, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів.

2.3. Дослідження та систематизація основних наслідків аварійних ситуацій

Наслідок – це подія, яка обов'язково виникає під дією іншої події, яку називають причиною. У філософії та логіці цей зв'язок називають причинно-наслідковим. Наслідок завжди є результатом, який логічно або хронологічно йде після своєї причини.

Для конструкцій промислових будівель можна виділити такі основні причини пошкоджень як: помилки проєктування, неякісне виконання будівельних робіт та аварійні (позапроєктні) впливи. Помилки проєктування та неякісне виконання будівельних робіт проявляється на технічному стані будівлі в перші роки експлуатації або при наближенні навантажень до граничних розрахункових. Отже, для будівель, що мають тривалий термін експлуатації, основною небезпекою можна вважати саме наслідки аварійних ситуацій [147].

Наслідки аварійних ситуацій для промислових будівель можна класифікувати:

- за характером поширення (площа та охоплення конструкцій будівлі);
- за можливістю подальшого поширення руйнувань;
- за основними видами пошкодження будівельних конструкцій;
- за організаційно-технологічними факторами;
- функціональні та виробничі;
- вторинні небезпеки (падіння уламків, пошкодження інженерних мереж, виникнення пожеж тощо).

За характером поширення наслідки аварійних ситуацій поділяються на:

- локальні (пошкоджено один тип конструкцій в одній зоні);
- в межах одного прольоту (пошкоджено багатопролітну конструкцію, що призвело до обвалення другорядних конструкцій покриття);
- руйнування суміжних прольотів (пошкоджено основні вертикальні конструкції, що призвело до обвалення двох і більше багатопролітних конструкцій);
- повне руйнування частини корпусу або частини в межах деформаційного шва).

Приклади основних наслідків аварійних руйнувань за характером поширення наведені на рисунку 2.5.

За можливістю подальшого поширення:

- виявлені аварійні конструкції суміжні з ділянкою пошкодження;

- обвалені конструкції створюють додаткове навантаження на сусідні конструкції;
- були пошкоджені конструкції, що слугують опорою для інших конструкцій будівлі.

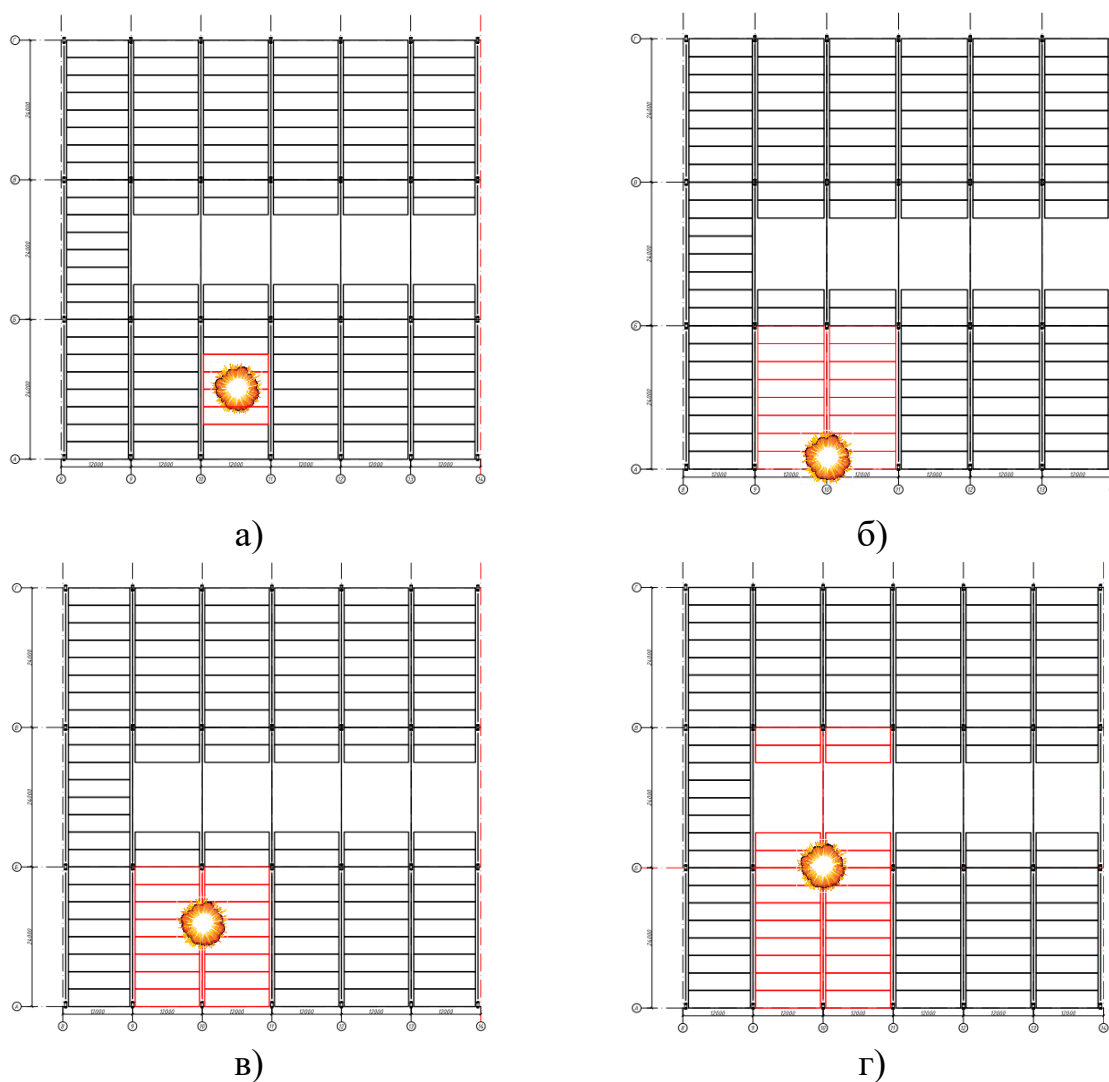


Рисунок 2.5. Приклади основних наслідків аварійних руйнувань за характером поширення: а) локальні (пошкоджено один тип конструкцій в одній зоні); б) в межах одного прольоту (крайню вертикальну конструкцію, що призвело до обвалення другорядних конструкцій покриття); в) в межах одного прольоту (пошкоджено багатопролітну конструкцію, що призвело до обвалення другорядних конструкцій покриття); г) руйнування суміжних прольотів (пошкоджено основні вертикальні конструкції, що призвело до обвалення двох і більше багатопролітних конструкцій).

Для промислових будівель можна виділити два основні типи несучих конструкцій – це вертикальні конструкції (колони, стіни) та горизонтальні конструкції (ригелі, плити, балки, ферми). Найбільш вразливою частиною промислових будівель при позапроектному впливі можна вважати конструкції покрівлі так, як потреба у забезпеченні більшої площі виробничих приміщень спонукає збільшувати проліт даного типу конструкцій, що призводить до зменшення ваги, а відповідно запасу міцності та жорсткості конструкцій [148-154].

Отже, основними наслідками аварійних ситуацій для конструкцій промислових будівель слід розглядати:

- локальні пошкодження окремих елементів;
- надмірні деформації та переміщення;
- пошкодження перерізів, що призвели до втрати несучої здатності конструкцій;
- руйнування вузлів і з'єднань між елементами;
- втрату просторової жорсткості та стійкості конструкції;
- часткове або повне обвалення елемента.

Зведена таблиця узагальнених дефектів та пошкоджень основних несучих конструкцій промислових будівель наведена у Додатку А. Дана таблиця є основою для формування бази даних існуючих дефектів та потребує подальшого доповнення з метою врахування нестандартних пошкоджень від позапроектних впливів.

Наслідки аварійних ситуацій можна поділити на такі основні організаційно-технологічні фактори:

- необхідність у тимчасовому підпиранні конструкцій;
- потреба у демонтажі нестійких елементів;
- обмеження щодо розміщення машин і механізмів;
- ускладнений доступ до пошкоджених ділянок;
- необхідність у виконанні робіт в умовах діючого або частково діючого виробництва;
- дефіцит часу та ресурсів;
- роботи в умовах невизначеності та браку вихідних даних;

- необхідність підсилення або заміни конструкцій.

На сучасному етапі серед основних викликів, з якими стикаються підприємства критичної інфраструктури внаслідок виникнення аварійних ситуацій, найбільш суттєвим є зупинка технологічного процесу, яка належить до функціональних та виробничих порушень. До цієї групи також доцільно віднести часткове припинення виробництва, консервацію виробництва, простій, ускладнення логістики всередині підприємства, обмеження можливості використання технологічного обладнання та втрату частини виробничих площ [151-153]. Виникнення зазначених порушень зумовлює необхідність якнайшвидшого усунення пошкоджень, пов'язаних насамперед із втратою працездатності основних несучих конструкцій будівлі.

Аналіз наукових публікацій, присвячених аварійним пошкодженням промислових будівель [1, 152-155], показує, що їх вплив не обмежується лише фізичним руйнуванням окремих конструктивних елементів. Аварійна ситуація може одночасно позначатися на роботі несучої системи будівлі, можливості використання виробничих площ, функціонуванні технологічного обладнання, безперервності виробничого процесу та умовах виконання подальших протиаварійних і відновлювальних робіт. У зв'язку з цим для подальшого аналізу доцільно систематизувати основні наслідки аварійних ситуацій за характером їх прояву та впливу на функціонування промислової будівлі і підприємства в цілому.

З урахуванням зазначеного основні наслідки аварійних ситуацій для промислових будівель доцільно об'єднати у конструктивні, просторові та планувальні, технологічні, функціональні, вторинні небезпечні, організаційно-технологічні та економічні групи. Узагальнену систематизацію наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Систематизація основних наслідків аварійних ситуацій для промислових будівель

Група наслідків	Основні прояви	Характеристика впливу	Можливий подальший розвиток
Конструктивні	локальне пошкодження несучих елементів; руйнування вузлів і з'єднань; втрата обпирання; надмірні деформації; зниження або втрата несучої здатності; втрата стійкості окремих конструкцій	Порушення нормальної роботи окремих елементів або конструктивної системи будівлі в цілому	перерозподіл зусиль; перевантаження суміжних елементів; поширення пошкоджень; часткове або повне обвалення
Просторові та планувальні	втрата частини виробничої площі; утворення зон, непридатних або небезпечних для перебування; обмеження проходів, проїздів і технологічних маршрутів	Зменшення доступної для використання частини будівлі та порушення її функціонального зонування	ускладнення доступу до пошкоджених ділянок; неможливість використання частини приміщень; необхідність зміни схем переміщення персоналу та техніки
Технологічні	пошкодження або зміщення технологічного обладнання; обмеження його використання; пошкодження трубопроводів, інженерних мереж і комунікацій; порушення технологічних зв'язків	Порушення нормальної роботи обладнання та взаємозв'язку між окремими операціями виробничого процесу	часткове або повне припинення окремих технологічних операцій; виникнення залежних відмов обладнання та інженерних систем
Функціональні	обмеження використання будівлі за призначенням; часткове припинення виробництва; повне зупинення технологічного процесу; неможливість експлуатації окремих виробничих ділянок	Безпосередній вплив аварійної ситуації на можливість продовження функціонування підприємства	збільшення тривалості простою; зниження виробничої потужності; втрата можливості виконання основної функції об'єкта
Вторинні небезпечні	падіння уламків; пошкодження суміжних конструкцій; розрив трубопроводів; витік небезпечних речовин; виникнення пожежі, вибуху або інших супутніх небезпечних процесів	Формування додаткових небезпечних факторів, які виникають уже після первинного пошкодження	розширення зони аварії; подальше руйнування; травмування людей; ускладнення проведення протиаварійних і відновлювальних робіт
Організаційно-технологічні	обмеження доступу до аварійної зони; необхідність	Ускладнення підготовки та	збільшення тривалості відновлення; необхідність

	термінового обстеження; потреба у тимчасовому підпиранні або стабілізації; необхідність демонтажу нестійких елементів; ускладнення розміщення машин і механізмів; дефіцит вихідної інформації	виконання робіт з ліквідації аварійних руйнувань	зміни послідовності робіт; потреба у виборі спеціальних організаційно-технологічних рішень
Економічні	прямі витрати на відновлення конструкцій і обладнання; втрати через простій; недоотримання продукції; додаткові витрати на тимчасові заходи та відновлення виробничого процесу	Формуються як унаслідок фізичних пошкоджень, так і через припинення або обмеження діяльності підприємства	зростання загальної вартості ліквідації наслідків аварії; збільшення непрямих втрат зі зростанням тривалості простою

Наведена систематизація свідчить, що наслідки аварійної ситуації у промисловій будівлі мають взаємопов'язаний характер і розвиваються послідовно – від локального пошкодження окремих конструктивних елементів до порушення роботи конструктивної системи, обмеження використання виробничих площ і технологічного обладнання та часткового або повного припинення технологічного процесу. При цьому організаційно-технологічні наслідки безпосередньо впливають на тривалість ліквідації аварійних руйнувань і відновлення функціонування підприємства.

Для скорочення тривалості ліквідації аварійних руйнувань необхідно мінімізувати або повністю усунути вплив негативних організаційно-технологічних факторів, які ускладнюють відновлення функціонування критично важливого підприємства. Одним із можливих чинників для скорочення тривалості виконання робіт з відновлення пошкоджених конструкцій є використання баз даних існуючих проєктних рішень з підсилення основних несучих конструкцій промислових будівель (додаток Б). Однак база даних потребує подальшого доповнення з врахуванням фіксації нових дефектів та відсутності для них готових проєктних рішень.

З метою усунення негативного впливу доцільно удосконалити існуючі організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних ситуацій.

2.4. Формування інформаційно-математичної системи з інтеграцію баз даних технічних рішень

Динамічні або аварійні навантаження, не передбачені при проєктуванні (вибухи, пожежі, ударні дії транспортних засобів або уламкових ушкоджень) суттєво підвищують ризик прогресивного руйнування конструкцій промислових будівель.

При виникненні аварійних руйнувань значна кількість часу витрачається на аналіз та збір даних для прийняття рішення щодо ліквідації наслідків аварійних руйнувань, тому створення системи, що збирає, аналізує та підбирає оптимальний метод відновлення з існуючих баз даних, значно скоротить терміни прийняття організаційно-технологічних рішень для відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель та зменшить помилки, пов'язані з людським фактором.

Аналіз літературних джерел показав, що наявні нормативні документи (ДБН В.1.2-14:2018, EN 1991-1-7:2006 тощо) переважно розглядають запобігання прогресуючого обвалення на стадії проєктування, тоді як процедури оперативної ліквідації наслідків залишаються недостатньо висвітленими й значною мірою залежать від досвіду окремих фахівців [112, 164]. В умовах реальної аварійної ситуації це призводить до затримок у прийнятті рішень щодо протиаварійного підсилення або відновлення функціонування будівлі.

З метою доповнення існуючих методичних рекомендацій було виконано систематизацію вітчизняного та зарубіжного досвіду ліквідації наслідків аварійних руйнувань [23, 105, 107-109, 111-118, 120, 124], що включає в себе:

- аварійно-рятувальні заходи,
- тимчасове підпирання,
- прийняття рішень щодо підсилення та відновлення конструкцій.

На підставі виділеного переліку створено модульну структуру оптимізації прийняття організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань (Рис.2.6), яка описує взаємопов'язану послідовність базових процесів – від опису об'єкта до формування звіту з визначеним оптимальним методом усунення пошкоджень.

Таким чином, сформовано основу для розробки спеціалізованого інструментарію, а саме інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення (ІМСОП) конструкцій каркасів промислових будівель, здатного інтегрувати дані з обстежень, алгоритмічно підбирати та порівнювати варіанти відновлення, зводячи до мінімуму вплив людського фактору. Запропонована система має забезпечити єдиний цифровий простір для швидкого й обґрунтованого прийняття рішень на всіх етапах ліквідації руйнувань конструкцій, від опису характеристик будівлі та технічного обстеження до прийняття рішення з тимчасового підпирання та підсилення пошкоджених конструкцій.

Метою створення інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення є скорочення часу й підвищення ефективності вибору організаційно-технологічних рішень для усунення наслідків аварійних руйнувань конструкцій каркасів промислових будівель, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні.

Під час створення ІМСОП були об'єднані наступні методи:

- структурований збір даних;
- автоматизована генерація сценаріїв відновлення конструкцій;
- інженерна верифікація в єдиному програмному середовищі.

Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати такі завдання:

- 1) структуризація вхідних даних, результатів обстеження та їх формалізація у вигляді типу пошкоджень;
- 2) алгоритмічний підбір і ранжування варіантів підсилення та відновлення за організаційно-технологічними критеріями;
- 3) автоматизований підбір методу та елементів для підпирання з рекомендованим місцем встановлення підібраних конструкцій;
- 4) відображення результатів у форматі, придатному для оперативного прийняття рішень, передпроектної підготовки та подальшого проектування.

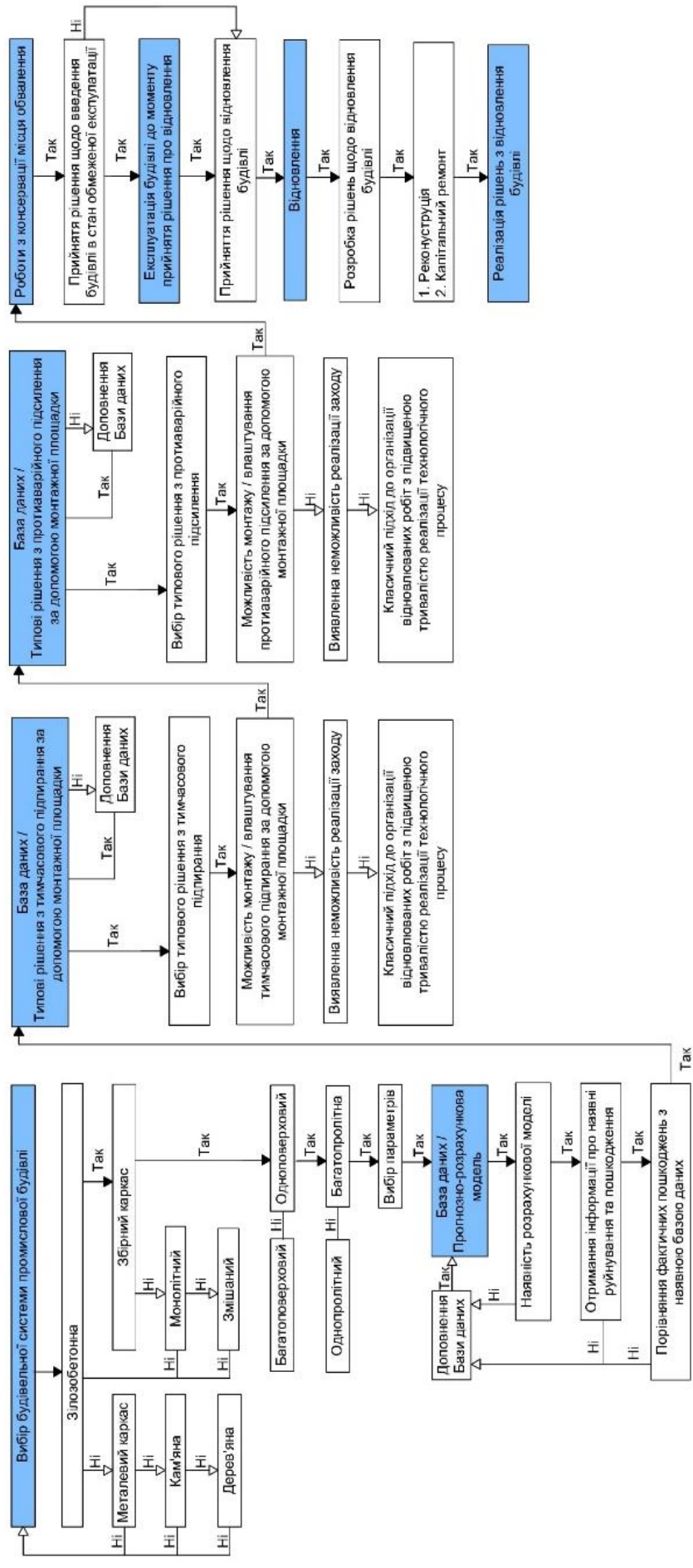


Рисунок 2.6. Структура оптимізації прийняття організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель

Передбачається, що користувач ІМСОП – це експерт з технічного обстеження, інженер проєктувальник, архітектор або керівник проєкту, який має доступ до первинних даних обстеження. Подальший розвиток ІМСОП можливий у напрямку підтримки формату IFC та інтеграція з розрахунковими комплексами в автоматичному режимі з підтримкою BiM.

Структура модулів ІМСОП розбита на логічні частини. Кожній частині відповідає свій самостійний модуль програмного комплексу, короткий опис усіх модулів наведено у Таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Структура модулів інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення конструкцій на прикладі використання монтажного майданчика

№	Модуль	Короткий опис роботи модуля
1	Ввід інформації про будівлю	Бібліотека геометричних і техніко-економічних параметрів об'єкта; підтримує ручний та автоматизований імпорт параметрів.
1a	Обстеження технічного стану	Напів-автоматизоване формування звіту з обстеження та визначення типу пошкоджень.
2a	Аналітичний	Пошук та ранжування типових рішень з підсилення та відновлення конструкцій, зокрема з використанням монтажного майданчика в якості методу виконання робіт.
2b	Розрахунковий	Перевірки за 1-м та 2-м граничними станами, моделювання впливу рішень підсилення та відновлення конструкцій, зокрема використання монтажного майданчика, експорт/імпорт розрахункової моделі у форматі .txt.
3	Підпирання	Підбір конфігурації монтажного майданчика та допоміжних опорних систем на основі даних 2a/2б.
4	Відновлення	Використання баз даних протиаварійного підсилення та методів відновлення конструктивних елементів
5	Формування звіту	Генерація документації (звіту з розширеною інформацією отриманою з баз даних та рекомендації від попередніх розглянутих проєктів) для прийняття подальших рішень

За допомогою системи відома інформація про об'єкт проходять послідовну трансформацію від опису пошкоджень до запропонованих організаційно-технологічного рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

Найбільший ефект з прискорення очікується на етапі ухвалення організаційно-технологічних рішень, оскільки автоматизований підбір та ранжування методів дають змогу порівняти значний масив інформації за стислий період часу, тоді як традиційний експертний підхід потребує декількох робочих днів.

Експертна оцінка та аналіз перевірних розрахунків показують, що відбувається скорочення часу прийняття рішення до 50 %. Це, у свою чергу, може скоротити загальний термін реалізації аварійно-відновлювальних робіт на 10-15%.

Додаткового зменшення тривалості виконання робіт з відновлення конструкцій можна досягти за рахунок використання типових рішень з існуючих баз даних, що задовольняють вхідним умовам і немає потреби у залученні Модуля 2b (Розрахунковий).

У такому випадку перехід від Модуля 2a до Модуля 3 усуває трудомісткий етап побудови розрахункової моделі, що зменшує витрати часу інженера проєктувальника додатково на 30–40 % порівняно з повним циклом роботи системи: Модуль 2a - Модуль 2b - Модуль 3.

У подальшому уніфікована структура даних та підтримка їх обміну у форматі IFC відкривають можливості для прямої інтеграції з BIM та CAD платформами, спрощуючи передачу результатів у проєктні та кошторисні комплекси. Створена модульна структура слугуватиме платформою для подальшого можливого під'єднання алгоритмів машинного навчання для прогнозу ушкоджень, впровадження Інтернету речей (IoT – сенсорів моніторингу) та розширення бібліотек типових рішень у базах даних.

Причинно-наслідкові зв'язки між процесами, що наведені у Таблиці 2.2, відображені в узагальненій схемі модульної архітектури ІМСОП на рис. 2.7. Ця схема демонструє модульну архітектуру інформаційно-математичної системи

оптимізації підсилення, допомагає чітко визначити функціональне призначення кожного модуля.

Початкові геометричні та експлуатаційні характеристики будівлі потрапляють до системи через Модуль 1 «Ввід інформації про будівлю», а результати технічних обстежень – через надбудову Модуль 1а «Обстеження технічного стану».

Обидва блоки формують єдиний електронний «образ об'єкта», що стандартизоване у текстовому форматі (.txt), а за подальшого розвитку у форматі IFC з можливим розширенням параметрів.

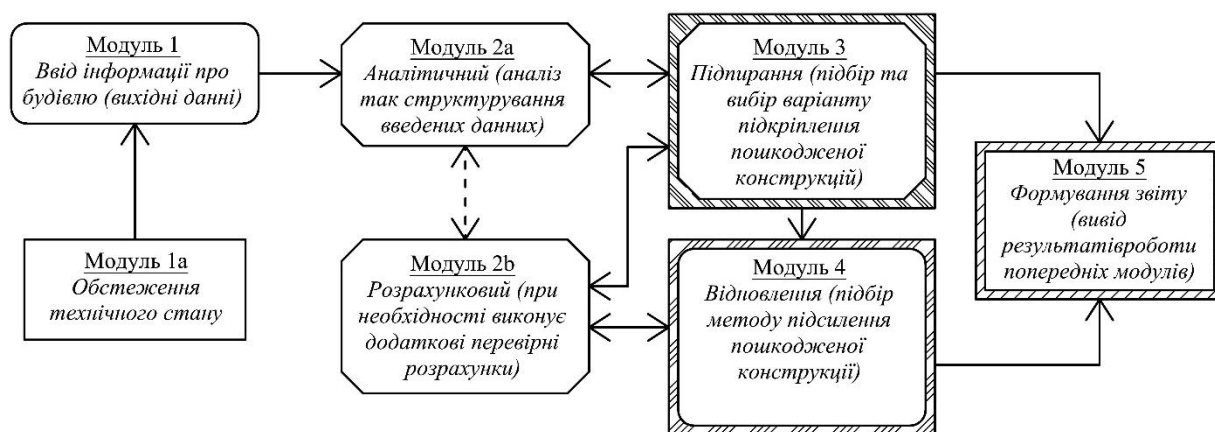


Рисунок 2.7. Узагальнена схема модульної архітектури ІМСОП

Після чого сформований масив даних паралельно передається у Модуль 2а «Аналітичний» і Модуль 2б «Розрахунковий» (за необхідності).

Модуль 2а виконує швидкий пошук типових рішень у базі даних, Модуль 2б виконує перевірки розрахунки елементи конструкцій або конструкції в цілому в разі потреби. Коли типова схема з існуючої бази даних задовольняє вимогам Модуля 2а, модуль 2б може бути пропущений, що відображено пунктирним зв'язком на рисунку 2.6.

Згенеровані рішення за результатами роботи модулів 2а або 2б передаються до Модуля 3 «Підпирання» для підбору конфігурації елементів підпирання, як зі стандартними методами підпирання, так і використання монтажного майданчика для мостового крану з допоміжними опорами.

Водночас між модулями 2 та 3 передбачено двосторонній обмін: за результатами попереднього підбору Модулем 3 система може повернути у Модуль 2b для уточнення вихідних даних (наприклад, опорні реакції від стійок для підпирання на монтажний майданчик), а Модуль 2b, у свою чергу, оновлює розрахункові показники.

Отримані рішення передаються далі у Модуль 4 «Відновлення» (для формування рекомендованих методів відновлення конструкцій) та Модуль 5 «Формування звіту», який зводить всю інформацію передану від роботи попередніх модулів у вигляді файлу формату PDF й у майбутньому IFC файлів для інтеграції з BIM та CAD платформами.

Така послідовність інтегрованих інформаційних потоків гарантує, що на кожному етапі використовується перевірена й актуальна інформація, а взаємозв'язок між обов'язковими модулями 2 та 3 забезпечує ітеративне уточнення організаційно-технологічного рішення без втрати цілісності даних.

Розглянемо детальний опис роботи модулів.

Модуль 1 Ввід інформації. Для заповнення Модуля 1 користувач проходить декілька етапів: спершу вказує базові геометричні параметри споруди, далі – матеріали та експлуатаційні особливості, наприкінці – організаційні обмеження (доступ техніки, робочі зміни). Частину полів система пропонує заповнити з локальних довідників, іншу можна ввести вручну. Якщо результати обстеження додаються через Модуль 1a, усі зібрані там дані імпортуються із CSV-файла й автоматично розподіляються по відповідних розділах форми. Після завершення введена інформація проходить перевірку на повноту та взаємну узгодженість, після чого передається у Модуль 2a як узагальнений «образ об'єкта» та «профіль пошкоджень». Такий спільний формат мінімізує ручні правки й гарантує, що аналітичний і розрахунковий блоки отримують один і той самий, уже перевірений набір вихідних даних.

Модуль 1a Обстеження технічного стану. Модуль 1a реалізовано як простий мобільний застосунок для Android, що дозволяє інженеру фіксувати дефекти безпосередньо на майданчику (об'єкті). Інтерфейс працює за принципом

«точка-кадр-коментар»: користувач обирає елемент конструкції зі списку, фотографує ушкодження, додає короткий опис та (за потреби) голосову нотатку. Доступні швидкі позначки на плані й спадні довідники типових дефектів, щоб мінімізувати ручне введення. У разі відсутності зв'язку (інтернету) дані зберігаються локально й автоматично синхронізуються, коли з'являється з'єднання з глобальною мережею.

Після завершення огляду застосунок генерує звіт у відповідності до вимог ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість» [109]. Документ містить перелік виявлених дефектів, карту їхнього розташування, фотоматеріали та короткі рекомендації експерта з обстеження. Паралельно генерується файл CSV, у якому заповнені ключові поля («ID елемента», «тип ушкодження», «ступінь пошкодження», «орієнтовні дії»). У меню доступна функція «Експорт у ІМСОП», що передає цей CSV до Модуля 1, де записи автоматично розподіляються в блоки «образ об'єкта» та «профіль пошкоджень». Таким чином забезпечується перехід від обстеження технічного стану об'єкту до подальшої аналітики у системі, критична інформація автоматично потрапляє у єдиний інформаційний простір системи.

Модуль 2а Аналітичний. Аналітичний модуль виконує первинний синтез можливих організаційно-технологічних рішень на підставі вхідних даних, отриманих від Модуля 1. Алгоритм роботи побудовано за схемою «пошук - фільтрація - ранжування». На першому кроці інтелектуальний пошуковий механізм звертається до бібліотеки типових рішень з тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій (підпирання з монтажного майданчика, рамними риштуваннями, піддомкращуванням) та підсилення (FRP-обгортками, металевими вставками тощо). Далі фільтри застосовують ключові технічні обмеження; зокрема перевіряється **вантажопідйомність мостового крана на ділянці** (наприклад, ≥ 10 т). На виході формується короткий перелік з 3-5 придатних методів відновлення, ранжованих за техніко-економічним показником.

За принципом взаємодії Модуль 2a передає **загальні рекомендації** двом різним підсистемам. Модуль 3 «Підпирання» отримує відібрані конфігурації монтажного майданчика із зазначенням ключових обмежень. Саме у Модулі 3 уточнюються детальні параметри (тип стійок, кут нахилу, схема монтажу). По-друге, коли характер ушкоджень дозволяє застосувати стандартне підсилення без додаткових уточнень, відповідна технологічна схема (наприклад, обгортка FRP чи заміна окремих елементів конструкцій) одразу передається до Модуля 4 для формування переліку заходів та ресурсної відомості. Якщо ж під час відбору виявлено нестачу інформації або перевищення критичних значень (невідомі реакції, надмірна зона пошкодження), метод позначається як «розрахунок обов'язковий» і автоматично спрямовується до Модуля 2b на детальний розрахунок.

Модуль 2b Розрахунковий. Модуль 2b активується тоді, коли для вибору організаційно-технологічного рішення необхідно перевірені розрахункові дані. Основа модуля – компактна бібліотека типових геометричних шаблонів (ферми, ригелі, колони, вузли), що зберігаються у відкритому форматі .txt. Інженер обирає потрібний шаблон, вводить габаритні розміри та положення пошкоджень, після чого модуль генерує текстовий опис мінімальної 3-D-моделі конструкції. Далі файл .txt експортується у будь-яку розрахункову систему, з якою користувач працює щоденно, – це дає свободу застосовувати звичні розрахункові комплекси і режими нелінійного аналізу без прив'язки до конкретного ПЗ.

Разом із геометрією модуль надає коротку таблицю параметрів, що треба визначити (наприклад: « N , кН у центральному розкосі», « $\sigma_{\max}$, МПа у поясі ферми»). Після завершення зовнішнього розрахунку інженер повертається в інтерфейс Модуля 2b і вносить отримані значення у відповідні поля. Усі введені результати одразу зберігаються як частина розрахунку й автоматично передаються до Модуля 4, де підбирається оптимальний спосіб підсилення з урахуванням фактичних зусиль і виявленого дефекту. Таким чином, Модуль 2b виступає зв'язковим модулем між базою геометричних і розрахункових параметрів ІМСОП

і будь-яким стороннім програмним комплексом, забезпечуючи повторюваність процесу та мінімізуючи обсяг ручного копіювання даних.

Модуль 3 Підпирання. Модуль 3 одержує згруповані методи підпирання безпосередньо з Модуля 2а. Вхідний набір методів містить лише ті параметри, які були попередньо відфільтровані аналітичним блоком за геометрією, вантажопідйомністю мостового крана (наприклад, ≥ 10 т) та допустимими габаритами робочої зони. Детальний перевірний розрахунок тут не потрібен: монтажний майданчик розглядається як алгоритмізована, експериментально апробована технологія, для якої заздалегідь визначено нормативні таблиці несучої здатності, крок стійок і схем піддомкращування.

Алгоритм роботи з підпирання складається з двох послідовних блоків. Спершу відбувається класифікація доступних опор: телескопічні стояки промислових систем (Doka Eurex, Peri Multiprop) та інвентарні стійки із прокатних профілів. Для кожного типу зберігаються визначені заздалегідь межі навантаження, мінімальний крок і вимоги до вузлів кріплення. Фільтр звіряє ці характеристики з геометрією зони встановлення, логістикою та існуючими кранами, залишаючи 2-3 придатні варіанти, ранжовані за сумарною трудомісткістю та витратами.

Другий блок – конфігуратор монтажного майданчика. Інтерактивна форма дозволяє інженеру змінювати матеріали основних конструкцій (алюмінієві ригелі, дерев'яні балки), уточнювати крок стійок, обирати одну з регламентованих схем піддомкращування; при кожній зміні модуль миттєво перевіряє параметри за заздалегідь підготовленими таблицями й повідомляє, якщо будь-які умови порушено. Коли конфігурація відповідає всім обмеженням, модуль формує специфікацію елементів, перелік кріплень і мінімальний набір механізмів для монтажу; результати зберігаються у проєктному звіті та доступні для подальшого документування у модулі 5. У такий спосіб система забезпечує швидкий, стандартизований вибір монтажного майданчика без необхідності щоразу виконувати трудомісткі перевірні розрахунки.

Модуль 4 Підсилення. Модуль 4 призначений для швидкого вибору постійних рішень з відновлення несучої здатності після завершення роботи Модуля 3 з тимчасового підпирання. Його основою є структурована **база типових рішень з підсилення**, згрупована за типами конструкцій (збірні залізобетонні ферми, ригелі, колони тощо). Для кожної конструктивної групи модуль зберігає:

- граничні межі застосування (допустимі зусилля, геометричні обмеження, температурні умови);
- короткий опис ключових робіт і мінімальний перелік необхідного обладнання;
- орієнтовні часо- і трудо-витрати (рівень точності – довідковий).

Після імпорту фактичних розрахункових параметрів, отриманих від інженера у Модулі 2b, програма автоматично відфільтровує методики, що виходять за межі застосування, і залишає стислий перелік можливих варіантів. Користувач може переглянути їх у зручній таблиці порівняння та вибрати оптимальну технологію на підставі власних пріоритетів (швидкість, доступність матеріалів, досвід підрядника). Результат вибору фіксується у звіті, як короткий опис підсилення та надалі використовується для підготовки детальної робочої документації поза межами ІМСОП.

Модуль 5 Формування звіту. Підсумковий модуль формує єдиний «витяг» із усіх прийнятих у процесі роботи рішень. До фінального звіту входять: стисле зведення початкових даних (паспорт об'єкта, перелік дефектів), опис вибраної схеми підпирання з ключовими параметрами монтажного майданчика, зазначення обраної методики постійного підсилення та орієнтовні трудовитрати на виконання обраного переліку робіт. Документація автоматично збирається у форматах PDF або DOCX (на вибір користувача), а таблична частина зі специфікаціями та відомостями ресурсів доступна додатково у XLSX-файлі для подальшого редагування.

Якщо під час роботи залучався розрахунковий Модуль 2b, до звіту додається архів із файлом моделі (у вихідному форматі використовуваного програмного комплексу) та стислим протоколом результатів розрахунку.

Запропонована інформаційно-математична система оптимізації підсилення (ІМСОП) створює цілісну цифрову послідовність: «обстеження - аналіз - розрахунок - тимчасове підпирання - підсилення», об'єднану у модульній архітектурі. Базова функціональність може дозволити інженеру отримати стандартизований набір рішень для тимчасового підпирання за допомогою монтажного майданчика без трудомістких перевірних розрахунків, оперативно сформувати «профіль пошкоджень» у польових умовах та, за потреби, виконати точковий зовнішній розрахунок окремих конструктивних елементів. Отже, ІМСОП виступає інструментарієм для скорочення невизначеності на критичній стадії ліквідації наслідків позапроектних впливів.

Подальший розвиток ІМСОП передбачає кілька стратегічних напрямів:

- Повноцінна BIM-інтеграція – прямий обмін даними IFC та синхронізація з хмарними середовищами для автоматичного оновлення геометрії та атрибутів пошкоджень.
- Модуль рекомендацій машинного навчання – навчання на накопиченій базі реалізованих проєктів для прогнозу найбільш ефективних методів тимчасового підпирання та підсилення за існуючими аналогами.
- Інтернет речей (IoT) – підключення деформаційних та вібраційних датчиків для уточнення моделі в режимі реального часу й динамічної корекції організаційно-технологічних рішень.
- Розширення сфери застосування – створення додаткових модулів для багатоповерхових каркасних систем, металевих та комбінованих конструкцій.
- Хмарне кооперативне середовище – забезпечення спільної роботи декількох підрядних організацій через web-інтерфейс з ролями та правами доступу.

Реалізація зазначених кроків перетворить інформаційно-математичну систему оптимізації підсилення (ІМСОП) із прототипу на повноцінну платформу цифрового супроводу аварійно-відновлювальних робіт, здатну не лише підвищувати безпеку промислових об'єктів, а й стати основою для подальших наукових досліджень у галузі організаційно-технологічного моделювання.

Схема принципового розподілу системи за модулями наведена на рис. 2.8.

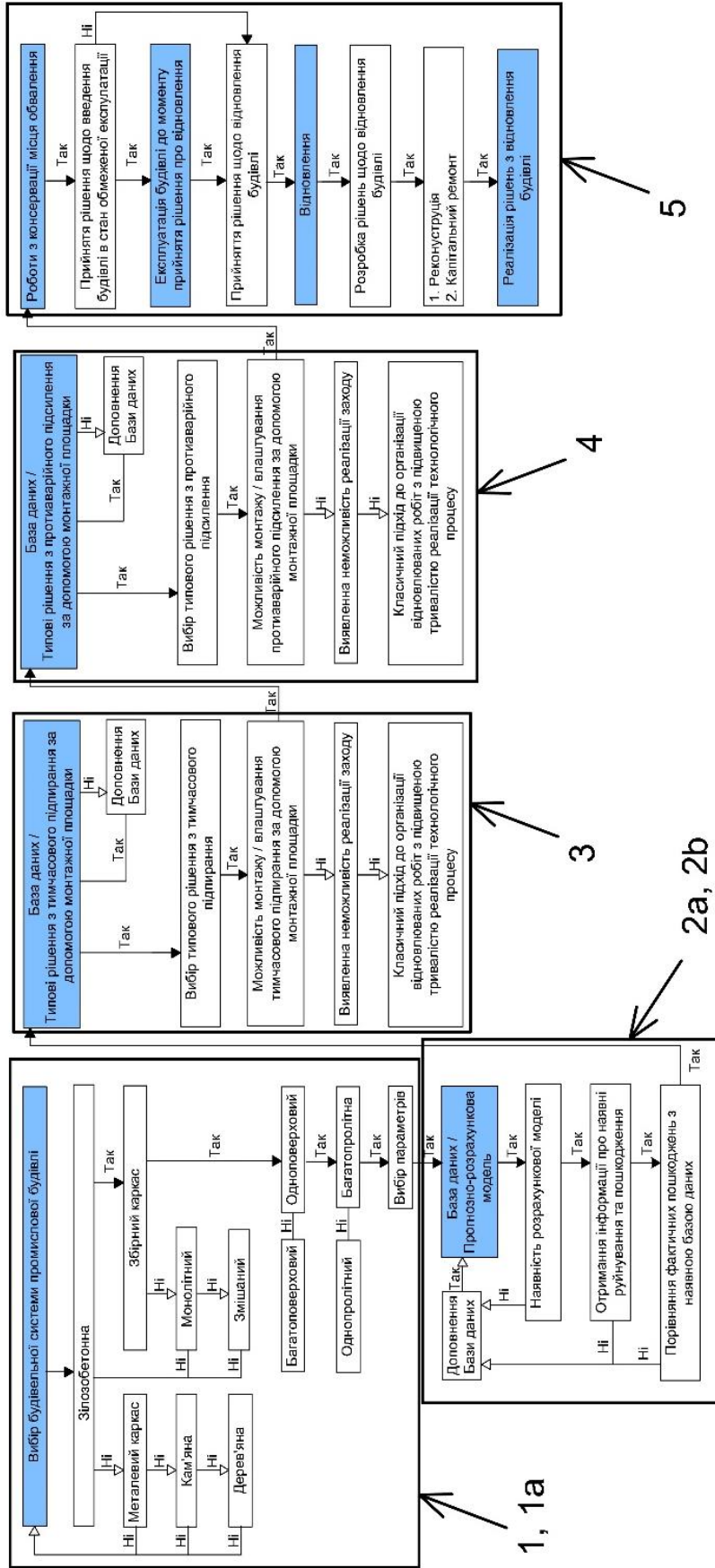


Рисунок 2.8 Розбиття структури інформаційно-математичного моделювання на модулі: 1, 1a – модулі вводу інформації та обстеження, 2a, 2b – аналітичний та розрахунковий модулі, 3 – модуль підкріплення, 4 – модуль підсилення, 5 – модуль звіту

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Для проведення дослідження було обрано основні методики та методи, що дозволять повною мірою забезпечити системність, цілісність та логічну послідовність викладеного матеріалу. Методики та методи використано з врахуванням міждисциплінарного характеру роботи з задачами організації будівництва, експлуатаційної надійності, роботи будівельних конструкцій, технології будівельного виробництва, інформаційного моделювання.

2. Проаналізовані, сформовані та досліджені основні критерії, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Виділено три основні фактори першого порядку – це технічні, організаційні та технологічні. Для кожного фактору першого порядку виділені додатково по три фактори другого порядку – це технічні, організаційні та фактори, пов'язані з механізацією. Для кожного з факторів другого порядку сформовані критерії для оцінки вагомості, не менше трьох для кожного фактору другого порядку. В загальному відібрано 45-ть критеріїв, що впливають на тривалість виконання робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

3. Було досліджено та систематизовано основні наслідки аварійних ситуацій. Дослідження показало, що основними наслідками аварійних ситуацій є функціональні та виробничі фактори, що призводять до зупинки або скорочення виробництва критично важливих підприємств. Однак основними наслідками, що впливають на сповільнення робіт з відновлення конструкцій промислових будівель, є організаційно-технологічні, а саме: необхідність у тимчасовому підпиранні конструкцій, потреба у демонтажі нестійких елементів, обмеження щодо розміщення машин і механізмів, ускладнений доступ до пошкоджених ділянок, необхідність у виконанні робіт в умовах діючого або частково діючого виробництва, дефіцит часу та ресурсів, роботи в умовах невизначеності та браку вихідних даних, необхідність підсилення або заміни конструкцій. Отже, з метою зменшення термінів виконання робіт з тимчасового підпирання та відновлення конструкцій доцільно удосконалити існуючі організаційно-технологічні рішення з врахуванням відмічених негативних наслідків аварійних ситуацій.

4. Сформовано підхід до створення інформаційно-математичної системи з інтеграцією баз даних технічних рішень як інструментарій для підвищення ефективності прийняття рішень з тимчасового підпирання та відновлення конструкцій. Це дозволить скоротити терміни виконання робіт з тимчасового підпирання та відновлення конструкцій будівель, пошкоджених внаслідок аварійних впливів за рахунок пришвидшення збору вихідних даних, аналізу та підбору оптимального рішення для поставленої задачі. Розробка інформаційно-математичної системи створить цілісний інструментарій, що удосконалює організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель.

РОЗДІЛ 3.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАНЬ

3.1. Ранжування факторів та критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань

Після того, як критерії прийняття рішень та можливі альтернативні методи відновлення визначені, була проведена обчислювальна процедура:

1. Для визначення матриць попарного порівняння критеріїв застосовувалися 9 лінгвістичних термінів, які виражають думку експерта, який приймає рішення, які показані в таблиці 3.1. Ці лінгвістичні терміни мають відповідні нечіткі числа.

2. У результаті попарного порівнянь визначалися вагомості критеріїв в два етапи: спочатку визначалися локальні вагомості критеріїв w_{lc} , після чого глобальні вагомості W_{gl} . Отримані локальні та глобальні критерії наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Локальні та глобальні вагомості критеріїв

Фактор/ критерії		W_{cl}			W_{gl}			BNP
		a_{min}	b_{mid}	c_{max}	a_{min}	b_{mid}	c_{max}	
F1.1		0.06	0.0469	0.0379				0.0483
	C1	0.394	0.3776	0.3063	0.0236	0.0177	0.0116	0.3593
	C2	0.2994	0.3561	0.3332	0.018	0.0167	0.0126	0.3296
	C3	0.1426	0.1554	0.2048	0.0086	0.0073	0.0078	0.1676
	C4	0.164	0.1109	0.1556	0.0098	0.0052	0.0059	0.1435
F1.2		0.0531	0.0456	0.047				0.0486
	C5	0.6065	0.6303	0.5214	0.0322	0.0288	0.0245	0.5861
	C6	0.2229	0.181	0.1554	0.0118	0.0083	0.0073	0.1864
	C7	0.1705	0.1888	0.3232	0.0091	0.0086	0.0152	0.2275
F1.3		0.0717	0.0663	0.0941				0.0774
	C8	0.0524	0.0413	0.0411	0.0038	0.0027	0.0039	0.0449
	C9	0.1452	0.1492	0.1628	0.0104	0.0099	0.0153	0.1524
	C10	0.4065	0.3006	0.2644	0.0292	0.0199	0.0249	0.3238
	C11	0.1214	0.1691	0.1485	0.0087	0.0112	0.014	0.1463

	C12	0.0514	0.0629	0.0761	0.0037	0.0042	0.0072	0.0635
	C13	0.0705	0.0596	0.0968	0.0051	0.004	0.0091	0.0756
	C14	0.1527	0.2173	0.2103	0.011	0.0144	0.0198	0.1935
F2.1		0.075	0.0813	0.0855				0.0806
	C15	0.2031	0.1581	0.1676	0.0152	0.0129	0.0143	0.1763
	C16	0.3006	0.352	0.3092	0.0226	0.0286	0.0264	0.3206
	C17	0.1066	0.1202	0.1486	0.008	0.0098	0.0127	0.1251
	C18	0.0808	0.0629	0.0764	0.0061	0.0051	0.0065	0.0734
	C19	0.0703	0.0654	0.068	0.0053	0.0053	0.0058	0.0679
	C20	0.2386	0.2415	0.2301	0.0179	0.0196	0.0197	0.2367
F2.2		0.1433	0.1745	0.163				0.1602
	C21	0.4553	0.4458	0.4459	0.0652	0.0778	0.0727	0.449
	C22	0.3621	0.3556	0.3608	0.0519	0.062	0.0588	0.3595
	C23	0.0951	0.0999	0.1077	0.0136	0.0174	0.0176	0.1009
	C24	0.0874	0.0987	0.0856	0.0125	0.0172	0.014	0.0906
F2.3		0.1379	0.1569	0.1614				0.1521
	C25	0.2739	0.2465	0.3139	0.0378	0.0387	0.0507	0.2781
	C26	0.5362	0.5015	0.437	0.074	0.0787	0.0705	0.4916
	C27	0.1899	0.252	0.2491	0.0262	0.0395	0.0402	0.2303
F3.1		0.146	0.1762	0.1689				0.1637
	C28	0.1842	0.2281	0.225	0.0269	0.0402	0.038	0.2124
	C29	0.5127	0.4811	0.4602	0.0748	0.0848	0.0777	0.4847
	C30	0.1016	0.0854	0.1438	0.0148	0.0151	0.0243	0.1103
	C31	0.2014	0.2054	0.171	0.0294	0.0362	0.0289	0.1926
F3.2		0.1207	0.0975	0.0884				0.1022
	C32	0.3562	0.3732	0.3455	0.043	0.0364	0.0305	0.3583
	C33	0.2096	0.277	0.2069	0.0253	0.027	0.0183	0.2312
	C34	0.2995	0.2544	0.2905	0.0361	0.0248	0.0257	0.2815
	C35	0.1346	0.0954	0.1572	0.0162	0.0093	0.0139	0.1291
F3.3		0.1924	0.1547	0.1539				0.167
	C36	0.1133	0.1211	0.1153	0.0218	0.0187	0.0177	0.1165
	C37	0.0793	0.0796	0.1027	0.0153	0.0123	0.0158	0.0872
	C38	0.0719	0.065	0.0836	0.0138	0.0101	0.0129	0.0735
	C39	0.0634	0.0665	0.0808	0.0122	0.0103	0.0124	0.0703
	C40	0.0534	0.0412	0.0484	0.0103	0.0064	0.0074	0.0477
	C41	0.08	0.0691	0.0676	0.0154	0.0107	0.0104	0.0722
	C42	0.0513	0.0401	0.0639	0.0099	0.0062	0.0098	0.0518
	C43	0.0851	0.1295	0.1308	0.0164	0.02	0.0201	0.1151

	C44	0.0554	0.1118	0.0989	0.0106	0.0173	0.0152	0.0887
	C45	0.347	0.2761	0.208	0.0668	0.0427	0.032	0.277

Джерело: розробка автора.

Результати ранжування критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань за глобальною вагою BNP наведені на графіку (рис. 3.1, рис. 3.2).

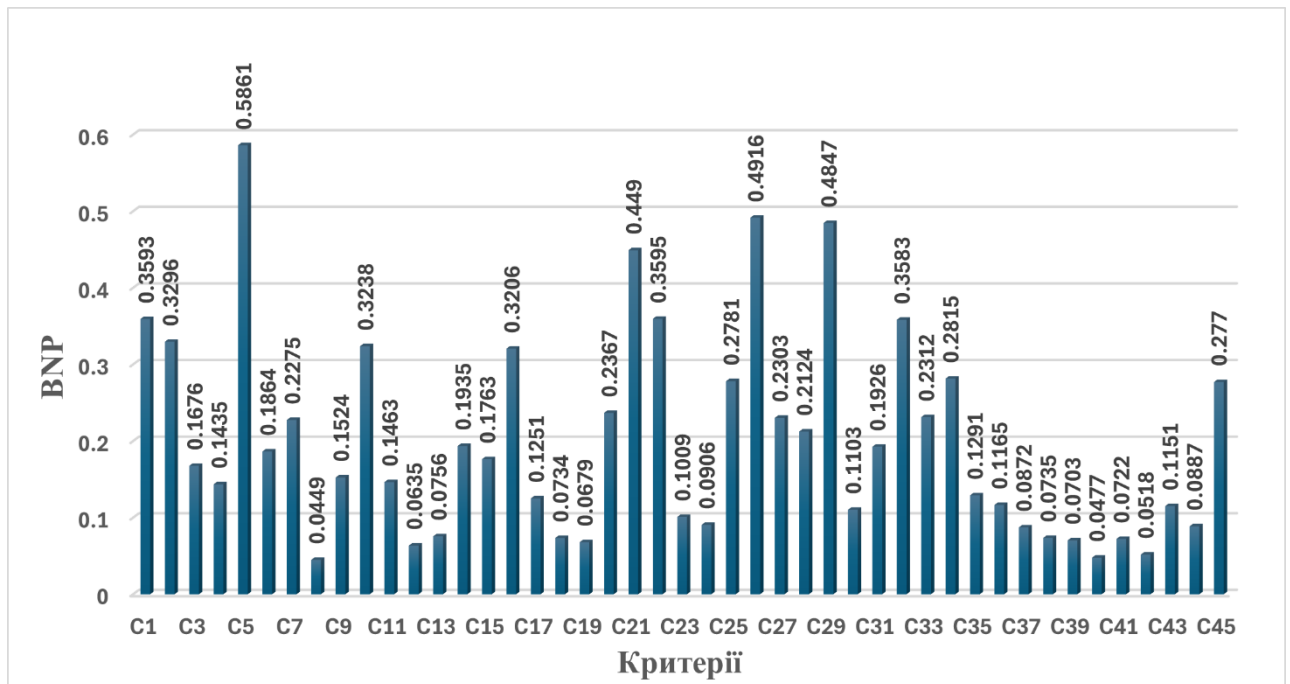


Рисунок. 3.1 Ранжування критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань за глобальною вагою BNP

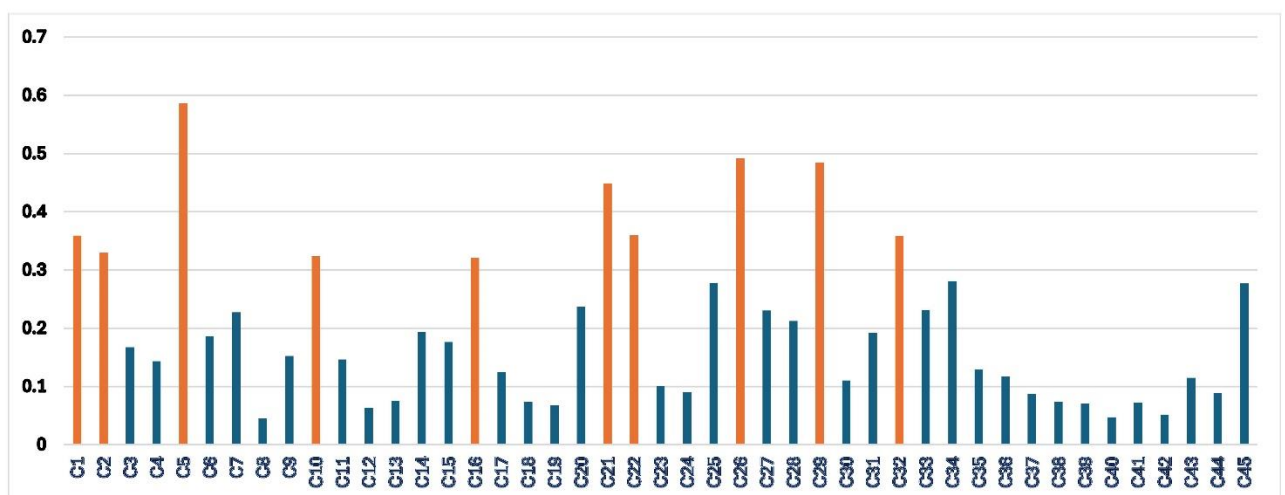


Рисунок. 3.2 Кольорова ілюстрація ранжування критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань за глобальною вагою BNP

Помаранчевим кольором на графіку видалені основні десять критерій, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

Для зручності аналізу основні 10 критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань виділені у окремому графіку у порядку зменшення вагомості (рис. 3.3).

Перелік повних назв основних десяти критеріїв наведено на рисунку 3.4.

На першому місці знаходиться критерій C5 – «Можливість використання будівельних матеріалів, що знаходяться на підприємстві», який відноситься до основної групи F1-Технічні фактори, підгрупи F 1.2 – Економічні фактори. На другому місці знаходиться критерій C26 – «Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних рішень», який відноситься до основної групи F2-Організаційні фактори, підгрупи F 2.3 – Фактори пов'язані з механізацією. Та на третьому місці знаходиться критерій C29 – «Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних рішень», який відноситься до основної групи F3-Технологічні фактори, підгрупи F 3.1 – Людські фактори.

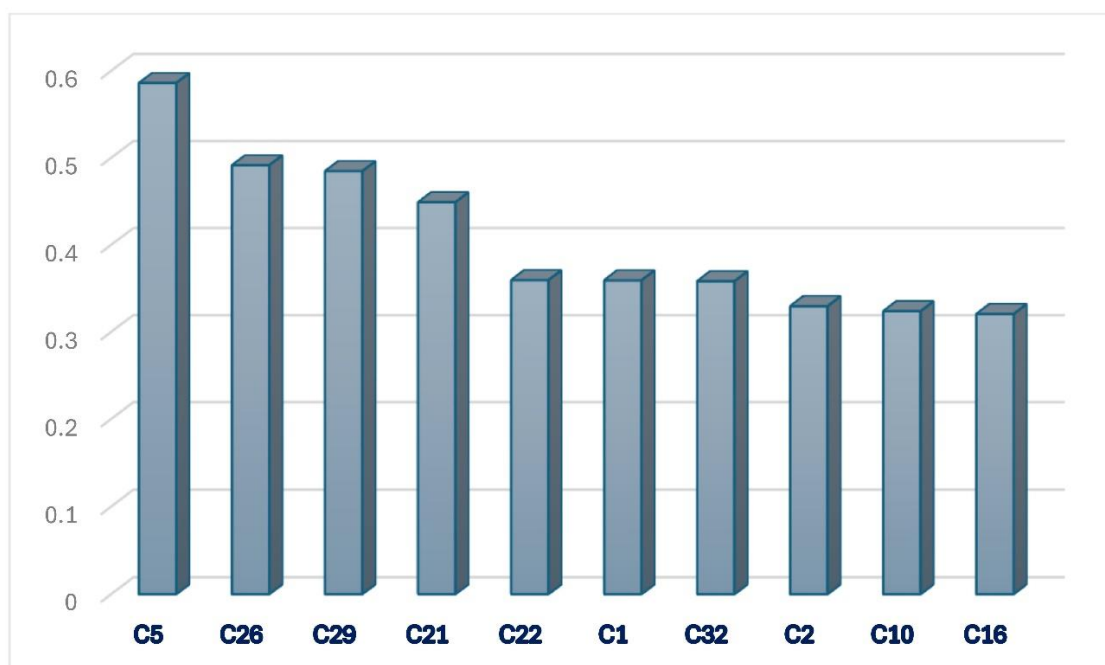


Рисунок. 3.3 Основні 10-ть критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань

-
- ① **C5** *Можливість використання будівельних матеріалів, що знаходяться на підприємстві*
 - ② **C26** *Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних проектних рішень*
 - ③ **C29** *Наявність достатньої кількості кваліфікованих робітників*
 - ④ **C21** *Наявність безперервного фінансування замовником*
 - ⑤ **C22** *Достатні оборотні кошти підрядника*
 - ⑥ **C1** *Наявність повного технічного обстеження*
 - ⑦ **C32** *Наявність у підрядника достатньої кількості власних засобів малої механізації*
 - ⑧ **C2** *Повнота та якість проектної документації*
 - ⑨ **C10** *Можливість використання обладнання цехів (підйомні механізми, навантажувачі, засоби транспортування)*
 - ⑩ **C16** *Кваліфіковані будівельні бригади*

Рисунок. 3.4 Перелік повних назв основних 10-ти критеріїв, що впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань

Результати ранжування факторів за глобальною вагою BNP наведені на рисунку 3.5 та рисунку 3.6. Згідно отриманих результатів першим за глобальною вагою BNP став фактор F2.2 – Економічні фактори для фактору першого порядку F2 – Організаційні фактори. Другим за глобальною вагою BNP став фактор F 3.1 – Людські фактори для фактору першого порядку F3 – Технологічні фактори. Другим за глобальною вагою BNP став фактор F3.3 – Фактори, пов’язані з механізацією для фактору першого порядку F3 – Технологічні фактори. Отже, найбільший вплив на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань впливає фактор першого порядку F3 – Технологічні фактори, так як включає 2 фактори другого порядку (1-ше та 2-ге місце при ранжуванні), що в ходять в першу трійку. Однак фактор першого порядку F2 – Організаційні фактори можна віднести до других факторів, що значно впливають на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань.

Отримані результати, а саме знаходження критерію C29 в трійці найбільш впливових критеріїв та в основній двійці факторів першого порядку на зменшення тривалості ліквідації наслідків аварійних руйнувань, доводять необхідність удосконалення інструментарію з автоматизації прийняття організаційно-

технологічних рішень для скорочення термінів виконання аварійно відновлювальних робіт.

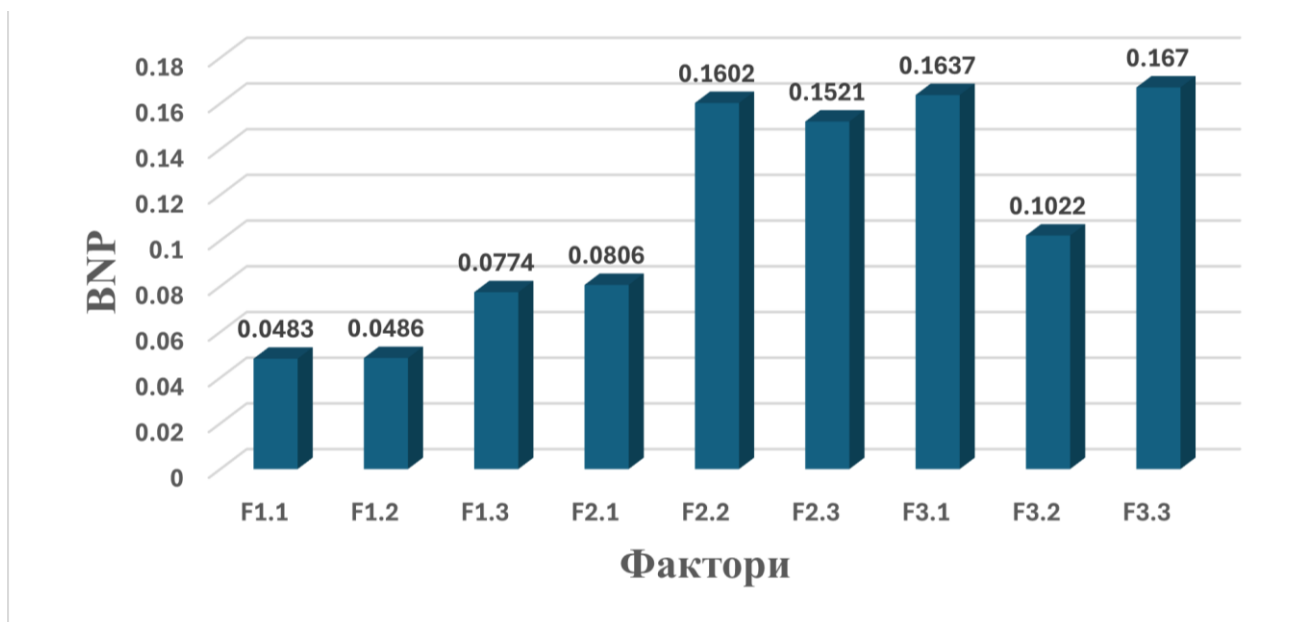


Рисунок. 3.5 Результати ранжування факторів другого порядку за глобальною вагою BNP

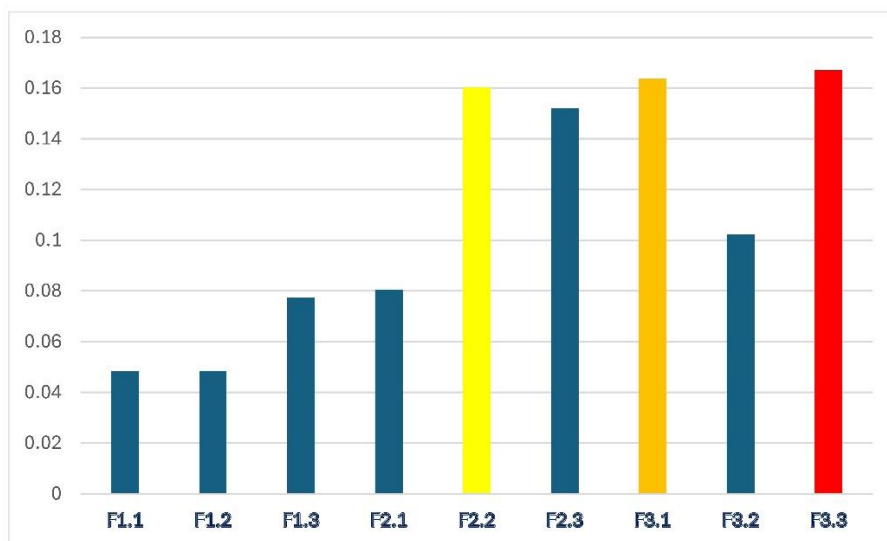


Рисунок. 3.6 Кольорова ілюстрація результаті ранжування факторів другого порядку за глобальною вагою BNP

3. Для оцінки рейтингу альтернативних методів відновлення пропонується система оцінки із використанням лінгвістичних термінів, коли критерій має якісний вимір методом TOPSIS. У цьому випадку використовуються п'ять лінгвістичних термінів (табл. 3.2) для оцінювання параметрів кожного методу відновлення по кожному якісному критерію.

TOPSIS – це метод, який використовується для ранжування альтернатив на основі їхньої відносної близькості до ідеального рішення. Загальна процедура TOPSIS складається з таких кроків: 1) побудова та нормалізація матриці рішень, 2) застосування вагових коефіцієнтів критеріїв для отримання зваженої нормалізованої матриці, 3) визначення ідеальних та негативно-ідеальних рішень, та 4) обчислення відносної близькості кожної альтернативи до ідеального рішення [156].

Ідеальне рішення представляє найкращу досягну продуктивність для кожного критерію серед усіх альтернатив, тоді як негативно-ідеальне рішення відповідає найгіршому. Альтернативам, які ближче до ідеального рішення та далі від негативно-ідеального рішення, присвоюються вищі рейтинги [157-158]. У цьому дослідженні метод TOPSIS було використано для оцінки чотирьох реальних альтернатив тимчасового підпирання з можливістю відновлення залізобетонних конструкцій покрівлі промислових будівель, з використанням зважених значень 45 критеріїв, отриманих з аналізу АНР. Оцінка проводилася окремо для групи експертів з проектних організацій та групи експертів з підрядних організацій на основі того самого набору вагових коефіцієнтів критеріїв. Зважену нормалізовану матрицю було використано для розрахунку евклідових відстаней як до ідеального, так і до негативно-ідеального рішень. Потім для кожної альтернативи було обчислено індекс відносної близькості для визначення її рейтингу. Бали TOPSIS були згенеровані для обох груп експертів, що дозволило провести порівняльний аналіз різних уподобань зацікавлених сторін. Для отримання загальної оцінки було отримано остаточний інтегрований рейтинг шляхом усереднення нормалізованих значень близькості з обох точок зору.

Для проведення порівняння обрано чотири методи відновлення пошкоджених конструкцій:

А - «Риштування» – доступ до зони ремонту через традиційні фасадні та об'ємні ліси.

В - «Ножичний підйомник» – використання мобільної підйомної платформи замість лісів.

С - «Монтажний майданчик» – збірно-розбірний майданчик, що встановлюється одним підйомом на мостовий кран.

Д - «Монтажний майданчик + ІМСОП» – поєднання монтажного майданчика з інформаційно-математичною системою оптимізації підсилення, що розглядається у дисертаційній роботі.

Лінгвістичні рейтинги чотирьох альтернативних методів відновлення по різних критеріях прийняття рішень зведені у нормалізовану матрицю нечітких рішень (табл. 3.3).

Таблиця 3.2

Лінгвістична шкала для оцінки методів відновлення

Лінгвістичний набір	Нечітке число
Рівень 1	(0, 0, 0.2)
Рівень 2	(0.1, 0.25, 0.4)
Рівень 3	(0.3, 0.5, 0.7)
Рівень 4	(0.6, 0.75, 0.9)
Рівень 5	(0.8, 1.0, 1.0)

Таблиця 3.3

Нормалізована матриця нечітких рішень

Критерії	А			В			С			D		
	a _{min}	b _{mid}	c _{max}	a _{min}	b _{mid}	c _{max}	a _{min}	b _{mid}	c _{max}	a _{min}	b _{mid}	c _{max}
C1	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C2	0.1	0.25	0.4	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.6	0.75	0.9	0.8	1	1
C4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.3	0.5	0.7
C5	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C6	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C8	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.8	1	1	0.8	1	1
C9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C10	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.8	1	1	0.8	1	1
C11	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C12	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.8	1	1	0.8	1	1
C13	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.8	1	1	0.8	1	1
C14	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C15	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9

C16	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C17	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C18	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C19	0.6	0.75	0.9	0.3	0.5	0.7	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C20	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C21	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C22	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C23	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C24	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C25	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C26	0.3	0.5	0.7	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C27	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C28	0.3	0.5	0.7	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4
C29	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C30	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C31	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C32	0.8	1	1	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C33	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1
C34	0.6	0.75	0.9	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C35	0	0	0.2	0	0	0.2	0.8	1	1	0.8	1	1
C36	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C37	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C38	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.6	0.75	0.9	0.6	0.75	0.9
C39	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.8	1	1	0.8	1	1
C40	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C41	0.1	0.25	0.4	0.1	0.25	0.4	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C42	0	0	0.2	0.1	0.25	0.4	0.8	1	1	0.8	1	1
C43	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7
C44	0.3	0.5	0.7	0.3	0.5	0.7	0.8	1	1	0.8	1	1
C45	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1	0.8	1	1

4. Побудова зваженої нормалізованої нечіткої матриці рішень (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Зважена дефазифікована нормалізована матриця рішень

Критерії	A	B	C	D
C1	0.003811	0.003811	0.003811	0.003811
C2	0.003674	0.007526	0.007526	0.007526
C3	0.003881	0.003881	0.005861	0.007297
C4	0.001548	0.001548	0.001548	0.003227
C5	0.020978	0.020978	0.020978	0.020978
C6	0.006621	0.006621	0.006621	0.006621
C7	0.005884	0.005884	0.003044	0.003044
C8	0.001734	0.001734	0.003203	0.003203
C9	0.009151	0.009151	0.006264	0.006264
C10	0.005949	0.005949	0.022711	0.022711
C11	0.008736	0.008736	0.006	0.006
C12	0.001425	0.001425	0.00476	0.00476
C13	0.001712	0.001712	0.005701	0.005701
C14	0.014321	0.014321	0.014321	0.014321
C15	0.010561	0.010561	0.010561	0.010561
C16	0.024364	0.024364	0.024364	0.024364
C17	0.005393	0.005393	0.005393	0.005393
C18	0.002982	0.002982	0.001499	0.001499
C19	0.004128	0.00277	0.001394	0.001394
C20	0.017876	0.017876	0.017876	0.017876
C21	0.067548	0.067548	0.067548	0.067548
C22	0.054116	0.054116	0.054116	0.054116
C23	0.004248	0.004248	0.004248	0.004248
C24	0.003714	0.003714	0.003714	0.003714
C25	0.011236	0.011236	0.011236	0.011236
C26	0.036968	0.055623	0.055623	0.055623
C27	0.009529	0.009529	0.009529	0.009529
C28	0.018252	0.009311	0.009311	0.009311
C29	0.074116	0.074116	0.074116	0.074116
C30	0.014013	0.014013	0.009657	0.009657
C31	0.029525	0.029525	0.029525	0.029525
C32	0.033773	0.026857	0.026857	0.026857

C33	0.021846	0.021846	0.021846	0.021846
C34	0.021135	0.013742	0.013742	0.013742
C35	0.000926	0.000926	0.012066	0.012066
C36	0.009441	0.009441	0.009441	0.009441
C37	0.007266	0.007266	0.010872	0.010872
C38	0.003014	0.003014	0.00914	0.00914
C39	0.002923	0.002923	0.010831	0.010831
C40	0.003829	0.003829	0.003829	0.003829
C41	0.002791	0.002791	0.005748	0.005748
C42	0.000656	0.002158	0.007983	0.007983
C43	0.009675	0.009675	0.009675	0.009675
C44	0.0075	0.0075	0.013679	0.013679
C45	0.042713	0.042713	0.042713	0.042713

5. Розрахунок коефіцієнту близькості кожного методу відновлення.

Таблиця 3.5

Значення D_i^+ , D_i^- та CC_i кожного запропонованого методу відновлення

Метод відновлення	D_i^+	D_i^-	CC_i	Рейтинг
A	0.032019	0.015329	0.323755	4
B	0.028756	0.020299	0.413799	3
C	0.015488	0.031854	0.672851	2
D	0.015329	0.032019	0.676245	1

6. Визначення найбільш відповідної альтернативи. В результаті згідно коефіцієнтам близькості та чотирьом альтернативним методам відновлення статуси оцінки є такими: метод А – слабо відповідає вимогам, метод В – слабо відповідає вимогам, метод С – рекомендується, метод D – рекомендується. Однак згідно з коефіцієнтами близькості проект D кращий проекту А, оскільки $CC_D > CC_C > CC_B > CC_A$. Отже, згідно результатам проведених обчислень був обраний метод D як такий, що забезпечує найбільш ефективне скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства.

Отримані результати та розроблені методичні підходи й принципи були використані для скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства.

Результати проведених досліджень були розглянуті та отримали схвалення на науково-практичних конференціях: IV Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» м. Київ, 26-27 квітня 2023 р.; Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry: Collection of Scientific Papers “International Scientific Unity” with Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference. April 9-11, 2025. Toronto, Canada; конференція «Визначення вартості об’єктів будівництва, проектних, будівельно-монтажних та ремонтно-будівельних робіт із застосуванням сучасних технологій. Управління вартістю життєвого циклу об’єктів - 2025» 20-23 травня 2025 р. у м. Івано-Франківськ.

Апробація деяких положень дослідження довела ефективність її застосування та свідчить про наукову та практичну значущість, обґрунтованість та достовірність положень, що виносяться на захист.

3.2. Формування ідеальної моделі об’єкту дослідження

Серед найбільш розповсюджених великопролітних залізобетонних і сталевих конструкцій для звуження обсягів досліджень обрано залізобетонні конструкції. У процесі узагальнення результатів обстежень і досліджень, проведених ДП «НДІБВ», було зібрано статистичні дані щодо типів великопролітних залізобетонних конструкцій покриття промислових споруд. Результати узагальнення отриманих даних з групуванням за регіонами наведено у табл. 3.6. Вони хоча й не є повністю репрезентативними для всієї території України, все ж дозволяють зробити висновок про значне розповсюдження залізобетонних ферм довжиною 24 м.

Таблиця 3.6

**Розповсюдження типів великопролітних залізобетонних конструкцій
покриття розглянутих промислових споруд (зазначена кількість будівельних
об'єктів)**

Розташування	Ферма 18 м	Ферма 24 м	Балка 12 м	Балка 18 м
Київ та Київська область	28	47	8	18
Черкаси	5	3	0	2
Кременчук	7	10	0	4
Дніпро	12	16	3	9
Павлоград	6	9	0	0
Запоріжжя	16	14	5	6
Нікополь	1	4	0	0
Херсон	3	7	2	3
Миколаїв	0	1	0	0
Полтава	14	10	1	5
Загалом	92	121	19	47

Джерело: розробка автора

Крім того, розгляд конструкцій з найбільшими прольотами є особливо актуальним, зважаючи на те, що зона ураження від їх руйнування є суттєво більшою (мінімум на 33% для ферм довжиною 24 м у порівнянні з іншими розглянутими конструкціями). Отже, доцільно розглянути приклад застосування запропонованих підходів захисту на великопролітній залізобетонній фермі довжиною 24 м.

На основі узагальнення результатів обстежень визначено сценарій пошкодження ферми, який передбачає повну або часткову втрату одного з елементів, наприклад, стійки або розкосу, внаслідок влучання снаряду в конструкції покриття (рис.3.5). Загальне руйнування такої конструкції може призвести до суттєвих наслідків, враховуючи значну довжину прольоту, та значних витрат ресурсів при ліквідації наслідків такої аварії.



Рисунок 3.5. Приклад пошкодження 24-метрової залізобетонної ферми, яка зазнала втрати елемента після обстрілу

На рисунку 3.6. представлено узагальнений вигляд конструктивної схеми досліджуваної промислової будівлі, де умовно позначено фактичний стан елементів: зруйновані, пошкоджені або непошкоджені. До аналізу у прогнозно-розрахунковій моделі залучаються виключно ті елементи, які за результатами обстеження зазнали пошкоджень, але зберігають залишкову несучу здатність, що дозволяє виконати їх тимчасове підпирання та подальше протиаварійне підсилення. Повністю зруйновані елементи розглядаються як втрачені й не беруть участі в моделюванні, однак їх відсутність впливає на перерозподіл зусиль у суміжних частинах конструкції. Такий підхід дозволяє сформувати реалістичну розрахункову модель для прийняття обґрунтованих технічних рішень, адаптованих до фактичного стану будівлі, без необхідності встановлення джерела пошкодження чи визначення його параметрів. Таким чином, пріоритетом є не реконструкція історії навантаження, а аналіз поточного стану та прогноз подальшої поведінки системи з урахуванням усіх актуальних впливів.

Приклад запропонованої базової розрахункової моделі збірної залізобетонної ферми наведено на рисунку 3.7.

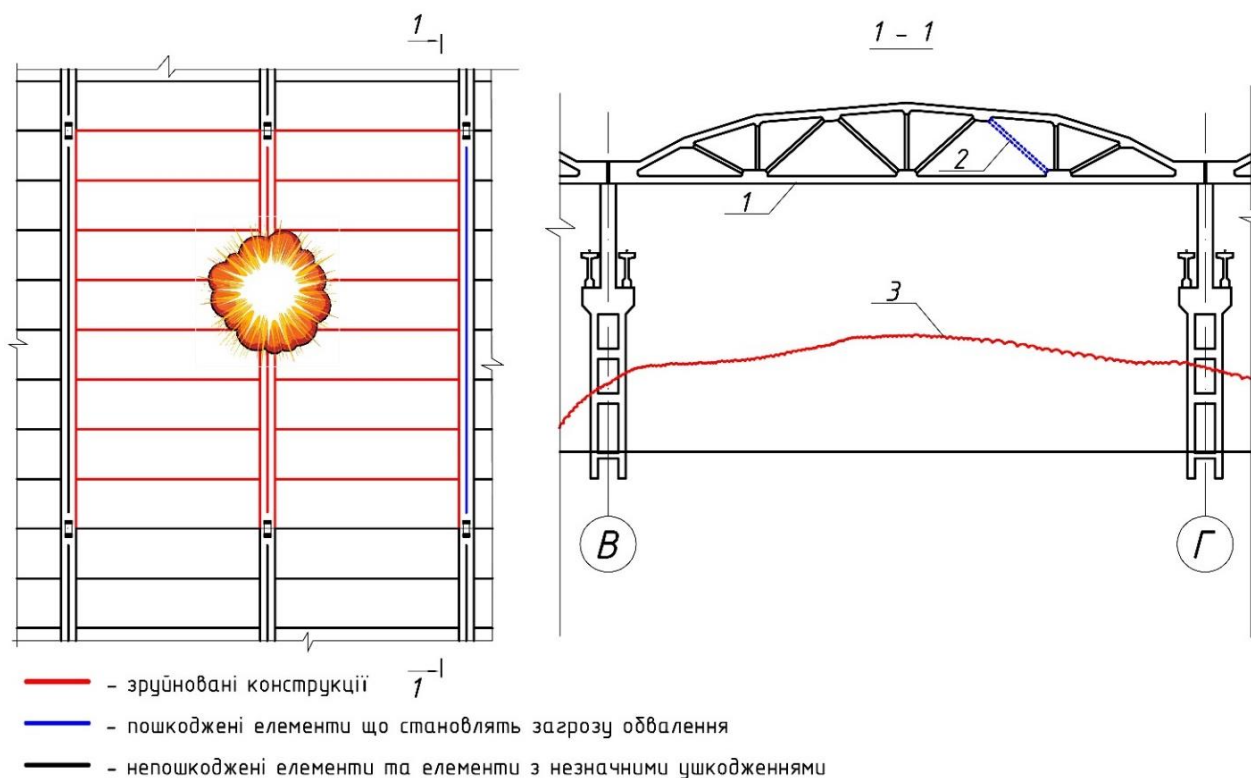


Рисунок 3.6 Схема пошкоджень промислової будівлі внаслідок позапроектного впливу: 1 – пошкоджена конструкція (залізобетонна ферма); 2 – місце пошкодження конструкції (розкос) ; 3 – зруйновані конструкції.

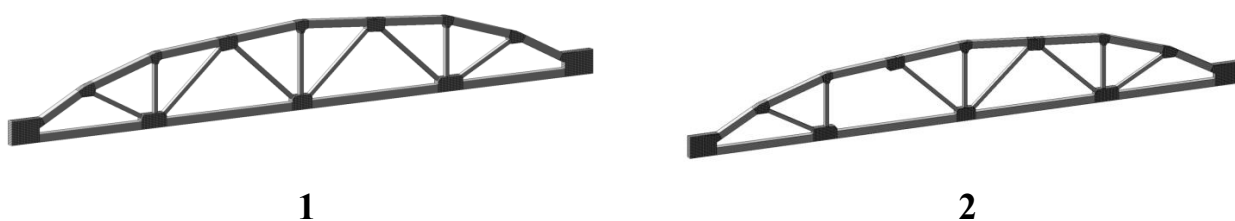


Рисунок 3.7 Приклад базової розрахункової моделі збірної залізобетонної ферми: 1 – вихідний стан конструкції, 2 – пошкоджена конструкція (відсутній розкіс)

3.3. Розробка концепції та методики інформаційного моделювання протиаварійного підсилення

Вихідними даними для побудови прогнозно-розрахункової моделі є: проєктна документація на промислову будівлю або її типова розрахункова схема; значення фізико-механічних характеристик матеріалів, прийнятих у проєкті або отриманих за результатами обстеження; допустимі відхилення геометричних параметрів та характеристик міцності конструкцій згідно з нормативними документами або

фактично встановлені в процесі діагностики; постійні, довготривалі та короткочасні експлуатаційні навантаження, характерні для даного типу промислової споруди, включаючи вагу обладнання, вплив мостового крану, снігове та вітрове навантаження; інформація про пошкоджені або деформовані елементи конструкції, встановлена за результатами візуального та інструментального обстеження.

Також враховуються геометричні параметри та розрахункові характеристики елементів, що планується застосовувати для тимчасового підпирання, у тому числі металевих стояків, монтажних майданчиків або іншого інвентарного обладнання. Ці дані використовуються для варіативного моделювання технічного стану будівлі до та після виконання стабілізаційних заходів. Прогнозно-розрахункова модель дає змогу оцінити, наскільки ефективно тимчасове підпирання впливає на перерозподіл зусиль у системі та забезпечує її стійкість у перехідному стані до моменту виконання протиаварійного підсилення.

Алгоритмічна послідовність дій в розрахунковому комплексі «ЛІРА-САПР», що сприятиме вирішенню поставленої задачі (Таблиця 3.7):

Етап 0 (підготовчий). Виконують аналіз конструктивних і об'ємно-планувальних особливостей будівлі, які є важливими для коректного формування розрахункової моделі. Формування моделі здійснюється за принципом послідовної деталізації: від базових, умовно спрощених моделей, що включають окремі несучі елементи (наприклад, ферму чи частину каркасу), до повних математичних моделей будівлі, створення яких доцільне у випадку необхідності аналізу загальної просторової роботи споруди. До моделі включаються лише ті елементи, несуча здатність яких могла бути порушена внаслідок впливу, і які потребують подальшого оцінювання, тимчасового підпирання та протиаварійного підсилення. Окрім того, до розрахункової схеми доцільно включати конструктивні елементи, які за певних умов можуть залучатися до роботи системи, наприклад, опорні колони при моделюванні роботи ферми. Саме така модель забезпечує можливість виконання варіативного прогнозного аналізу з урахуванням подальших стабілізаційних заходів і є основою для прийняття інженерних рішень.

Етап 1. Побудова геометрії елементів базової розрахункової моделі - моделювання геометрії залізобетонної ферми.

Етап 2. Застосування властивостей матеріалів до конструкції шляхом введення параметрів фізико-механічних властивостей для елементів конструкції.

Етап 3. Застосовування проєктних навантажень на розрахункову модель. На даному етапі в розрахункову модель вводяться лише проєктні навантаження, передбачені для нормальної експлуатації промислової будівлі. До таких навантажень належать постійні, довготривалі та короточасні, зокрема, вага конструкцій, обладнання, снігове та вітрове навантаження, а також навантаження від технологічних процесів. Ці навантаження є основою для початкового статичного розрахунку, на основі якого далі формуватиметься повноцінна прогнозно-розрахункова модель.

Хоча на цьому етапі не враховуються позапроєктні або аварійні сценарії, вже на цьому рівні модель формується з урахуванням її подальшого використання як інструменту для оцінки технічного стану пошкоджених конструкцій. Введені навантаження та параметри будуть використані як база для моделювання поведінки конструктивних елементів, що зазнали ушкоджень, у поєднанні з додатковими факторами, які враховуватимуться в наступних етапах аналізу.

Етап 4. Проведення розрахунку без урахування пошкоджень конструкцій, отриманих унаслідок позапроєктного впливу, виконується на основі побудованої інформаційної та математичної моделі промислової будівлі, з використанням методу скінченних елементів. На цьому етапі аналізується робота конструктивної системи у вихідному (проєктному) стані без порушення геометрії чи втрат несучої здатності. Результатом розрахунку є значення деформацій та напружень у конструкціях під дією нормативних експлуатаційних навантажень.

Етап 5. Аналіз результатів розрахунку будівлі (без пошкоджень). Отримані дані використовуються як базові для подальшого порівняльного аналізу зміни зусиль і деформацій у випадку пошкодження елементів. Це дозволяє точніше оцінити вплив позапроєктного порушення просторової схеми на загальний розподіл навантажень та формування локальних зон ризику. Таким чином,

початковий розрахунок у проєктному стані є важливою складовою побудови повноцінної прогнозно-розрахункової моделі для оцінки стійкості пошкодженої будівлі.

Етап 6. Коригування розрахункової моделі з урахуванням пошкоджень.

На цьому етапі до прогнозно-розрахункової моделі вносяться зміни, що відображають фактичний технічний стан конструктивної системи після дії позапроєктного впливу. Визначаються та виключаються з роботи ті елементи, які в результаті обстеження класифіковані як зруйновані або такі, що втратили несучу здатність. Одночасно оновлюється конфігурація схеми шляхом зміни жорсткісних та силових характеристик пошкоджених елементів, які залишаються в системі, але потребують подальшого підсилення або тимчасового підпирання.

Також у випадках, коли модель включає пов'язану систему конструкцій (наприклад, ферма-колона або ферма-стінова панель), уточненню підлягає участь суміжних елементів, які могли змінити характер своєї роботи через часткову втрату спільного просторового взаємозв'язку. Це дозволяє сформувати адаптовану до реального стану розрахункову схему, яка враховує актуальний розподіл зусиль у системі, появу нових потенційно навантажених ділянок та необхідність локального стабілізування.

Модифікована конструктивна схема стає основою для подальшого аналізу напружено-деформованого стану системи з урахуванням змін у просторовій роботі конструкції і дозволяє коректно оцінити вплив варіантних підсилювальних заходів на загальну стійкість та працездатність об'єкта.

Етап 7. Редагування навантажень на розрахункову модель. Після адаптації конструктивної схеми будівлі до фактичного технічного стану здійснюється коригування діючих навантажень з урахуванням змін, спричинених позапроєктним впливом. На цьому етапі формуються розрахункові сполучення навантажень, що включають постійні, довготривалі та короточасні складові. Особливу увагу приділено зміні характеру дії навантажень у зонах пошкоджень, де деякі конструкції вибувають з роботи або змінюється порядок їх навантаження.

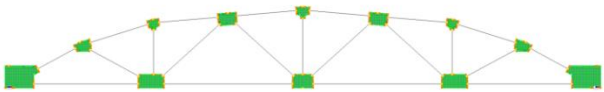
Етап 8. Проведення розрахунку та аналіз всієї моделі. Виконується розрахунок конструкцій у їх актуальному стані методом скінченних елементів із врахуванням пошкоджень і змінених навантажень. На основі результатів аналізу визначаються зони максимальних деформацій, перевантажені конструктивні елементи, а також ті ділянки, де можливий розвиток подальших руйнувань. Оцінюється загальна стійкість будівлі та формується база для прийняття рішень щодо тимчасового підпирання або підсилення.

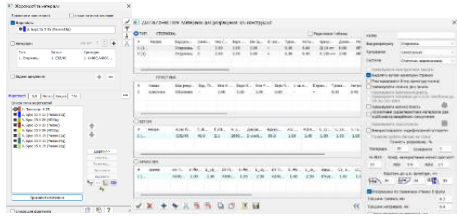
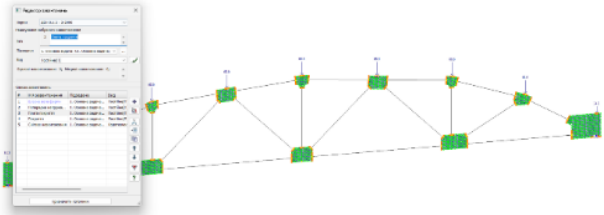
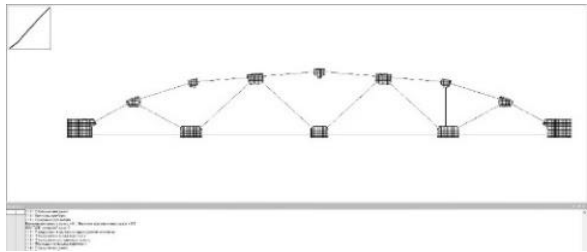
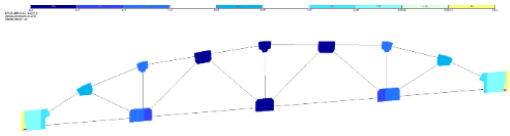
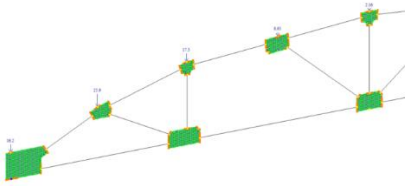
Етап 11. Моделювання протиаварійного підсилення. Моделювання проводиться з урахуванням того, що використання монтажного майданчика є передбаченим технологічним рішенням для реалізації протиаварійного підсилення. Він забезпечує необхідний доступ до зони втручання, виконує функцію технологічної опори та дозволяє ефективно реалізовувати підсилення в зонах ушкоджень. Додатково враховується маса підсилювальних елементів, зокрема вага сталевих накладок, підкосів або обойм, які встановлюються з використанням монтажного майданчика. Це дає змогу перевірити можливість їх транспортування, монтажу та взаємодії з існуючою конструкцією.

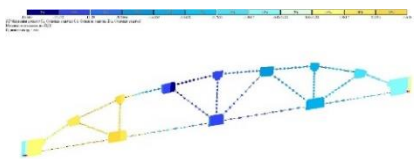
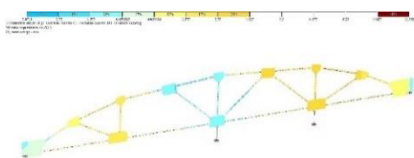
У розрахункову модель вносяться зміни жорсткісних характеристик і граничних умов, що враховують вплив підсилення. Це дозволяє оцінити загальний напружено-деформований стан системи та спрогнозувати її поведінку після реалізації обраного технічного рішення.

Таблиця 3.7

Побудова розрахункової інформаційної та математичної моделі в програмному комплексі «ЛІРА-САПР»

Етапи моделювання	Короткий опис етапу моделювання
Етап 1. Побудова геометрії елементів розрахункової моделі	Розрахункова схема елемента 

Етап 2. Застосування властивостей матеріалів до конструктивних елементів	Введення фізико-механічних показників конструктивних елементів 
Етап 3. Застосування проектних навантажень на розрахункову модель	Прикладання навантаження 
Етап 4. Проведення розрахунку без урахування пошкоджень конструкцій	Нелінійний розрахунок конструкції 
Етап 5. Аналіз результатів розрахунку будівлі (без пошкоджень)	Аналіз ізополів переміщень та фіксація результатів 
Етап 6. Коригування розрахункової моделі з урахуванням пошкоджень	Внесення змін до розрахункової схеми конструкції з врахуванням виявлених при обстеженні пошкоджень 
Етап 7. Редагування навантажень, моделювання наслідків вибуху	Введення параметрів навантаження 

Етап 8. Проведення розрахунку та аналіз отриманих результатів	Нелінійний розрахунок, аналіз ізополів переміщень, фіксація результатів 
Етап 9. Моделювання системи тимчасового підпирання з піддомкращуванням за допомогою монтажного майданчика	Визначається можливість підпирання конструкції та піддомкращування за допомогою монтажного майданчику та вносяться нові граничні умови 
Етап 10. Розрахунок та аналіз моделі із системою підпирання та піддомкращування	Нелінійний розрахунок, аналіз ізополів переміщень, фіксація результатів 
Етап 11. Моделювання протиаварійного підсилення з допомогою монтажного майданчика	У модель з пошкодженнями вносяться додаткові елементи підсилення та виконується перевірка підбраного перерізу, перевіряється можливість використання монтажного майданчика для обраних типів робіт 

3.4. Розробка сукупності організаційно-технологічних моделей

Для оцінювання часових параметрів виконання робіт в умовах невизначеності в дослідженні застосовано метод PERT (Program Evaluation and Review Technique), який передбачає представлення комплексу робіт у вигляді мережі взаємопов'язаних операцій та використання ймовірнісних оцінок їх тривалості [159, 160]. У межах цього дослідження застосування PERT розглядається як додатковий етап перевірки часової реалізованості організаційно-технологічних рішень, попередньо оцінених і ранжованих методом АНР. Відповідність між пріоритетністю альтернативи за результатами

багатокритеріального оцінювання та сприятливими показниками її очікуваної тривалості свідчить про узгодженість результатів, отриманих різними методами.

Прийняття організаційно-технологічного рішення потребує врахування сукупності факторів, пов'язаних із трудовими, матеріально-технічними та часовими ресурсами. За відсутності достатнього обсягу кількісних даних для визначення вагомості окремих факторів і порівняння альтернатив застосовано експертні оцінки та метод аналізу ієрархій (АНР), який дає змогу структурувати проблему, визначити відносну вагомість критеріїв і здійснити ранжування можливих рішень [161, 162].

PERT доцільно застосовувати у випадках, коли тривалість окремих операцій неможливо достовірно визначити за даними об'єктів-аналогів, нормативними показниками або результатами безпосереднього хронометражу. Для кожної роботи встановлюють оптимістичну (мінімально можливу за сприятливих умов), найбільш імовірну (очікувану за нормальних умов виконання) та песимістичну (максимальну за несприятливого розвитку умов) оцінки тривалості, на основі яких визначається очікувана тривалість її виконання [159, 160]. Для застосування методу досліджуваний процес попередньо декомпонують на окремі роботи або операції, визначають їх технологічну послідовність і взаємозв'язки, після чого формують мережеву модель. Поєднання методів багатокритеріального оцінювання та ймовірнісного календарного планування розглядається в сучасних дослідженнях як один із напрямів урахування ризику та невизначеності під час прийняття рішень у будівництві [163].

Середні значення тривалості робіт визначають за формулою:

$$Y = \frac{t_0 + 4t_m + t_p}{6} \quad (1)$$

де t_0 – оптимістична тривалість виконання робіт (роботи виконуються з мінімальні терміни без жодних стримуючих та обтяжуючих факторів); t_m – очікувана тривалість виконання робіт (виконання робіт проходить загально прийнятими термінами і передбачуваними затримками); t_p – песимістична

тривалість виконання робіт (в процесі виконання робіт виникають непередбачувані обставини, що значно затримують процес виконання робіт).

Принцип отримання експертної оцінки тривалості робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань внаслідок впливів, не передбачених при проектуванні, за допомогою методу PERT наведений на рис. 3.8.

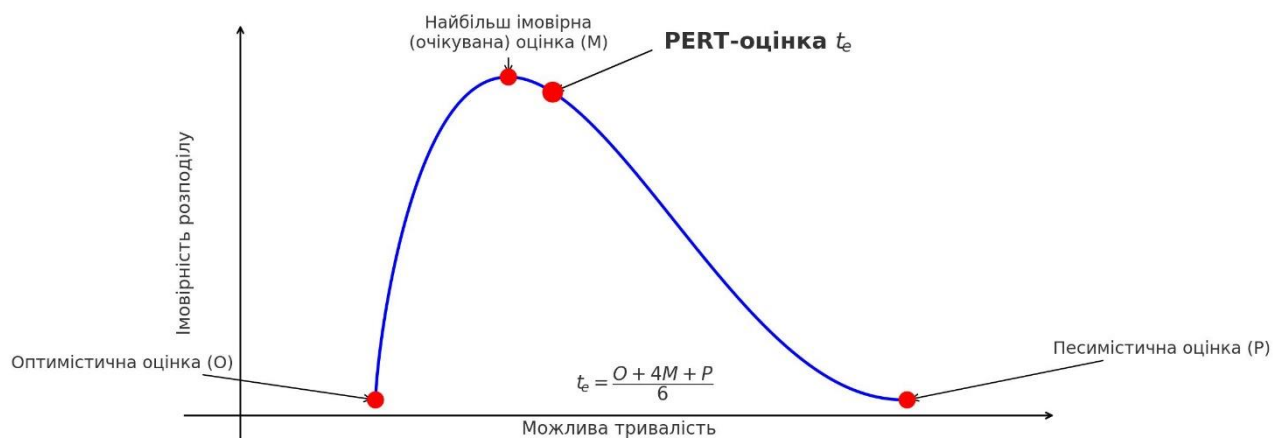


Рисунок 3.8. Принцип отримання експертної оцінки тривалості робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань внаслідок впливів, не передбачених при проектуванні за допомогою методу PERT (аналіз тривалості робіт за трьома точками): M – очікувана оцінка; O – оптимістична оцінка; P – песимістична оцінка

Таким чином, у межах дослідження метод PERT використовується не як альтернатива АНР, а як додатковий інструмент оцінювання отриманих організаційно-технологічних рішень. АНР забезпечує визначення пріоритетності альтернатив за сукупністю критеріїв, тоді як PERT дозволяє оцінити їх часову реалізованість з урахуванням невизначеності вихідних даних. Зіставлення результатів обох методів дає можливість додатково перевірити обґрунтованість вибору способу виконання робіт.

У розділі 1 було обґрунтовано, що головною метою комплексу аварійно-відновлювальних робіт є якнайшвидше відновлення або консервація пошкодженої ділянки промислової будівлі, щоби забезпечити подальшу безпечну експлуатацію споруди або її непошкоджених частин. Для об'єктивного порівняння можливих

технологічних підходів потрібні календарні графіки з достовірними показниками тривалості та трудовитрат. На практиці такі дані часто фрагментарні чи відсутні, тому в цій роботі було застосовано експертну оцінку: група фахівців надала узгоджені значення часу виконання дев'яти ключових етапів для кожного з чотирьох змодельованих сценаріїв:

1. **S1 «Риштування»** – доступ до зони ремонту через традиційні фасадні та об'ємні ліси.
2. **S2 «Ножичний підйомник»** – використання мобільної підйомної платформи замість лісів.
3. **S3 «Монтажний майданчик»** – збірно-розбірний майданчик, що встановлюється одним підйомом на мостовий кран.
4. **S4 «Монтажний майданчик + ІМСОП»** – поєднання монтажного майданчика з інформаційно-математичною системою оптимізації підсилення, що розглядається у дисертаційній роботі.

У Додатку Г наведено результати оцінки середніх тривалостей простих операцій для кожного зі сценаріїв тимчасового підпирання, отримані аналізом експертного оцінювання методом PERT.

Далі було проаналізовано експертні дані з метою визначити, який із чотирьох сценаріїв дає найменшу сумарну тривалість та трудомісткість за однакових початкових умов. Порівняння ведеться поетапно: для кожної з дев'яти операцій подано числові показники, наведено причинно-наслідкові пояснення відмінностей та сформульовано інтегральний ефект від застосування нових технологічних і організаційних рішень. Повні календарні діаграми Ганта всіх чотирьох сценаріїв наведено в додатку Д.

Етап 1. «Вибух та позапроектний вплив на конструкції» моделюється з нульовою тривалістю, оскільки це миттєвий некерований зовнішній фактор, який лише ініціює аварійно-відновлювальну послідовність робіт. У межах календарного планування даний етап виконує функцію «умовного нульового циклу»: він фіксує початок відліку часу й визначає початкові пошкодження, але не передбачає участі трудових ресурсів або застосування технологічних засобів. Будь-які організаційно-

технологічні рішення, що аналізуються у сценаріях, можуть впливати лише на подальші ремонтно-консерваційні операції; на момент самої детонації їх застосування фізично неможливе. Тому для забезпечення коректності порівняльного аналізу тривалість етапу приймається рівною нулю у всіх сценаріях.

Етап 2 «Горіння та ліквідація осередків пожежі» ($T = 2$ год у $S_1 - S_4$). Цей етап охоплює дії підрозділів ДСНС від моменту прибуття на об'єкт до повного усунення займання в прольоті, де розташована пошкоджена ферма. Послідовність дій стандартизована відомчими оперативними нормативами, тому вибір технології доступу до конструкцій (риштування, підйомник, монтажний майданчик чи їх комбінація з ІМСОП) не впливає на тривалість пожежогасіння. Загальна тривалість 2 год складається з 15-хвилинного прибуття та розгортання сил (2.1, 2.2) і 1 год 30 хв активного гасіння (2.3), після чого створюються безпечні умови для виконання рятувальних і стабілізуючих робіт.

Етап 3 «Першочергові демонтажні та стабілізуючі роботи» ($T = 3,5$ год у $S_1 - S_4$). Після ліквідації пожежі ДСНС переходить до внутрішніх протоколів первинного забезпечення безпеки: огляд та оцінка обсягів руйнування, прийняття тимчасових організаційно-технологічних рішень, відключення електроживлення, евакуація персоналу й розбирання локальних завалів для деблокування можливих постраждалих. Кожна операція виконується штатними силами рятувальної служби, тому тривалість етапу ідентична в усіх сценаріях і не залежить від подальшого методу доступу до ферми.

У роботі А. Григоровського [123] розглянуто можливість негайного підпирання потенційно нестійких конструкцій житлових каркасів безпосередньо на етапі первинних дій ДСНС. Для збірних залізобетонних промислових споруд така практика не застосовувалась: великі прольоти, значна маса збірних елементів, а також наявність кранового обладнання у верхній зоні цеху унеможливають спорудження аварійних підпір за лічені години. Отже, у нашій методиці стабілізаційні рішення приймаються після завершення етапу 3, коли доступ до пошкоджених вузлів забезпечується одним із чотирьох досліджуваних сценаріїв.

Етап 4 «Вибір організаційно-технологічних рішень» завершує фазу первинних дій ДСНС і переводить процес у технічне підсилення. Його зміст і тривалість формуються двома групами операцій: 1 – обстеження та аналіз технічного стану конструкцій; 2 – мобілізація ресурсів, потрібних для тимчасового підкріплення. Нижче подано технічне пояснення, чому загальна тривалість дорівнює 17 год для сценаріїв «Класичні рихтування» (S_1) і «Мобільний підйомник» (S_2), зростає до 28,5 год для «Монтажного майданчика» (S_3) і скорочується до 21,5 год у «Монтажний майданчик + ІМСОП» (S_4).

Базові операції, спільні для всіх сценаріїв Після завершення розбирання локальних завалів (попередник 11 у графіку) паралельно запускаються:

- попереднє візуальне обстеження (4.2, 4 год) – ручний огляд ферм та колон на предмет видимих тріщин і прогинів;
- геодезичне обстеження (4.3, 4 год) – лазерне сканування й знімання реперів для фіксації фактичної геометрії та деформацій.

Ці дві операції виконуються незалежними підрозділами, тому не впливають одна на одну й мають однакову тривалість у S_1 – S_4 .

Сценарії S_1 та S_2 (17 год)

1. Прийняття організаційно-технологічних рішень щодо тимчасового підпирання (4.6, 1 год). Після отримання результатів обстежень (попередники 13, 14) керівник робіт вибирає стандартні інвентарні стійки й визначає зони їх встановлення, базуючись на типовій картотеці (базі даних).

2. Замовлення основних засобів (4.7, 8 год). Передбачає оформлення заявки та транспортування рихтувань чи підйомника зі складу (попередник 15). Тривалість задана експертами як середня для промислових об'єктів поза міською межею.

Критичний шлях: $11 \rightarrow 13/14 \rightarrow 15 \rightarrow 16$. Додаткових перевірок або монтажу робочої платформи не потрібно, тому етап завершується за 17 год.

Сценарій S_3 «Монтажний майданчик» (28,5 год)

Запровадження збірно-розбірною майданчика зумовлює появу низки технологічних дій:

- оцінка можливості підпирання конструкцій краном (4.5, 8 год) – розрахунок несучої здатності рейок та підкранових балок, підбір стійок (попередник 13);
- монтаж монтажного майданчику (сукупно 4.8.1-4.8.6, 7,5 год) – включає вибір типорозміру, замовлення комплекту, доставку, підйом автокраном і фіксацію (послідовні попередники 17-23).

Транспортування комплекту та прибуття крана (по 2 год кожне) визначають найдовший відрізок критичного шляху; в результаті підготовчий цикл зростає більш ніж у 1,6 рази порівняно з базовими сценаріями.

Сценарій S₄ «Монтажний майданчик + ІМСОП» (21,5 год)

Використання інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення скорочує тривалість двома механізмами.

1. Автоматизований підбір стійок з бібліотеки типових вузлів зменшує час операції 4.5 з 8,0 до 0,5 год (алгоритм відразу пропонує допустимі комбінації кран-стійка-ферма).
2. Паралельне виконання підетапів монтажу майданчика. Система формує стиснений графік, дозволяючи частково перекривати доставку комплекту (20) з прибуттям автокрана (20) та підготовчими маніпуляціями (22). За рахунок цього сумарна тривалість пакета 4.8 скорочується на 4 год.

Скоригований критичний шлях: 11 → 13 → 17 → 20 → 23. Завдяки зменшенню затримок етап завершується за 21,5 год, що на 7 год ($\approx 25\%$) швидше за S₃.

Етап 5 «Тимчасове підпирання окремих пошкоджених конструкцій»

На цьому етапі виконується встановлення інвентарних стійок під аварійні ферми, для забезпечити їхню стійкість до початку основних робіт. Послідовність операцій залежить лише від того, з якої зони подаються підпірки:

У сценаріях S₁–S₂ стійки монтуються на бетонній підлозі цеху й підпирають нижній пояс ферми; чистий фронт робіт потребує попереднього розбору завалів → пов'язано з підзадачею 6.1.

У сценаріях S₃ (монтажний майданчик) та S₄ (монтажний майданчик + ІМСОП) підпирання ферми виконується безпосередньо з удосконаленого монтажного майданчика. Розчищення підлоги не потрібне, однак кран має бути попередньо випробуваний на робочу вантажопідйомність, ці вимоги враховані в роботах 4.1 та 4.8.

Етап 6 «Розбір завалів» Це єдина група операцій, від якої сценарії S₃ та S₄ формально відмовляються. У варіантах з використанням класичних риштувань та ножичного підйомника очищення здійснюється двома чергами:

- 6.1 (12 год) – розчистка для встановлення підпірних стійок;
- 6.2 (6 год) – додаткове звільнення фронту робіт для монтажу риштувань або безпечного проїзду підйомника.

Сценарії з монтажним майданчиком не потребують цих дій, оскільки доступ організовано зверху мостовим краном: майданчик монтується поза зоною завалу і переміщається над ним. Таким чином:

- S₁ / S₂: сумарно +18 год до критичного шляху;
- S₃ / S₄: етап не включається, час = 0.

Етап 7 «Роботи з тимчасового підпирання конструкцій покриття»

Саме на цьому етапі проявляється максимальна різниця між технологіями.

- **S₁.** Найбільші втрати часу спричинені 40-годинним циклом монтажу риштувань, який неможливо виконувати паралельно з іншими роботами через обмеження на переміщення людей та матеріалів під пошкодженою фермою.
- **S₂.** Використання самохідної платформи усуває потребу у стаціонарних риштуваннях; підготовка обмежується 30-хвилинним випробувальним проїздом і перевіркою габаритів в отворі воріт.
- **S₃.** Монтажний майданчик потребує розгортання вантажопідіймальної техніки й сумісного такелажу; підготовчі дії займають 0,5 год, але сумарна тривалість більша, ніж у S₂, через попередні роботи з підкрановою інфраструктурою (відображено в етапі 4).
- **S₄.** Додатковий виграш у часі досягається за рахунок інформаційно-математичної системи, яка автоматично генерує звіт для підсилення, технологічні

карти та відомість матеріалів: блок 7.1 скорочується у вісім разів, а решта операцій зберігає тривалість S_3 .

Етап 8 «Моніторинг динаміки розвитку руйнувань будівлі та геодезичний контроль» розгортається паралельно з усіма основними технологічними операціями і слугує двом цілям:

- виявляти прогресуючі деформації у пошкоджених елементах під час першочергових рятувальних дій;
- відстежувати реакцію несучої системи на встановлення тимчасових підпірок і виконання робіт з відновлення ферми.

Перший підетап – «Моніторинг у період рятувальних робіт» – має фіксовану тривалість три години для всіх варіантів, оскільки охоплює лише початкову стадію стабілізації, коли ДСНС виконує огляд, евакуацію та локальне очищення зони обвалення.

Друга складова – «Геодезичний моніторинг» – триває рівно стільки, скільки триває критичний шлях кожного сценарію, починаючи з монтажу підпор і закінчуючи останньою операцією з відновлення ферми. Внаслідок різної календарної довжини робіт вона демонструє суттєві розбіжності:

Етап 9 «Завершення тимчасового підсилення та перехід до консервації» фіксується з нульовою календарною тривалістю у всіх чотирьох сценаріях («Класичні риштування», «Мобільний підйомник», «Монтажний майданчик», «Монтажний майданчик + ІМСОП»). Це подія, яка позначає момент, коли несуча система отримала достатнє тимчасове підпирання, а ризик прогресуючого руйнування зведено до прийнятного мінімуму. Оперативні роботи закінчуються підписанням акту технічної готовності до наступного етапу виконання робіт.

На практиці вміст цієї роботи може реалізуватися двома шляхами:

- консерваційний сценарій – улаштування тимчасового температурного контуру, ізоляція пошкодженої секції, підтримання стабільного мікроклімату та безпечного коридору для персоналу;

- безпосереднє відновлення – негайний перехід до стадії капітального ремонту конструкцій з використанням уже встановлених підпірок як робочого монтажного риштування або опорної системи.

Оскільки тривалість та організація цих подальших дій залежать від окремого проєктного рішення та не впливають на порівняння чотирьох досліджуваних технологічних сценаріїв, у календарній моделі етап 9 задається як подія з $T = 0$ год. Це дозволяє чітко відмежувати етап аварійно-відновлювальних робіт від подальших будівельно-монтажних або консерваційних заходів та уніфікує порівняльну оцінку критичних шляхів.

Агрегування часових дельт показує чотири чіткі рівні ефективності. Базовий сценарій «Класичні риштування» (S_1) задає 100 % календарної тривалості. Перехід до «Ножичного підйомника» (S_2) вилучає з критичного шляху близько 30-35 % часу, головним чином за рахунок відмови від сорокагодинного циклу монтажу риштувань і скорочення обсягу розбирання завалів. «Монтажний майданчик» (S_3) дає додаткову економію ~10-12 %: підпирання здійснюється зверху, тому зникає потреба в розбиранні завалів для очищення підлоги. Максимальний результат демонструє «Монтажний майданчик + ІМСОП» (S_4): автоматизований підбір схеми підсилення зменшує організаційні паузи, і сумарна тривалість зменшується приблизно до 45 % від базової – економія часу сягає 55 %.

У таблиці 3.8 наведені основні операції, тривалість яких впливає на трудомісткість різних сценаріїв протиаварійних робіт.

Таблиця 3.8

Середня тривалість операцій у складі простих процесів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань

Складові операції	S_1	S_2	S_3	S_4
4 Вибір організаційно-технологічних рішень	17 год	17 год	28,5 год	21,5 год
4.8 Монтаж монтажного майданчика	-	-	7,5 год	7 год
5. Тимчасове підкріплення окремих пошкоджених конструкцій будівлі	8 год	8 год	8 год	8 год

6. Розбір завалів	18 год	20 год	-	-
7. Роботи з тимчасового підсилення конструкцій покриття				
7.1 Прийняття організаційно-технологічних рішень щодо методів відновлення	4 год	4 год	4 год	0.5 год
7а. Тимчасового підсилення ферми з використанням риштувань				
7а.1 Встановлення риштувань	40 год	-	-	-
7б. Тимчасового підсилення ферми з використанням ножичного підйомника				
7б.1 Підготовчі роботи до виконання робіт з підйомної платформи ножичного типу	-	0.5 год	-	-
7в. Тимчасового підсилення ферми з використанням монтажного майданчика				
7в.1 Підготовчі роботи до виконання робіт з монтажного майданчика	-	-	0.5 год	0.5 год
7.2 Виконання робіт з відновлення ферм	20 год	20 год	20 год	20 год
8. Моніторинг динаміки розвитку руйнувань будівлі та в період її відновлення (Загальна тривалість робіт)	107 год	69,5 год	61 год	50,5 год

Розглянемо переваги та недоліки обраних сценаріїв протиаварійного підпирання.

Класичні риштування. Перевага – універсальність і повна взаємозамінність елементів: матеріал доступний на більшості баз МТО, персонал звик до методики складання. Недоліки: повільний монтаж, значні обмеження по висоті (ефективно до 20 м), висока частка ручних переміщень матеріалу та утилізація робочого часу на підйоми-спуски.

Ножичний підйомник. Прискорює вхід у фронт робіт, полегшує подачу дрібного інструменту й витратних матеріалів, дає мобільний робочий стіл. Обмеження: габарити бази й мінімальний діаметр розвороту у прорізі воріт;

потреба в рівній підлозі та запасі несучої здатності плити; висотна межа 12-18 м для стандартних моделей, що не завжди покриває великі промислові зали.

Монтажний майданчик. Забезпечує робочу поверхню на будь-якій позначці: актуально для цехів металургії, енергетики, машинобудування з висотою покриття 25-35 м. Підпирання виконується одразу з рівня ферми, отже, відпадає вимога розбирати завал з обвалених конструкцій на підлозі. Основний ризик – залежність від мостового крана: потрібен справний механізм з вантажопідйомністю ≥ 10 т та безаварійними підкрановими шляхами. Додатково додається час на перевірку прогину настилу й фіксацію шайбових вузлів.

Монтажний Майданчик + ІМСОП. Всі робочі моменти, що забезпечує монтажний майданчик з додатковим автоматизованим підбором конфігурації підпирання, електронна відомість матеріалів і схема монтажу. Оптимізація усуває до 3,5 год організаційних затримок, мінімізує людський фактор у виборі стійок та розміщенні упорів. Обмеження – потреба в робочому місці для інженера-оператора ІМСОП та доступ до мережі інтернету; у разі збою ПЗ доводиться переходити на ручний режим розрахунку.

Узагальнюючи, сценарій «Монтажний майданчик + ІМСОП» забезпечує найкоротший критичний шлях і найменші трудовитрати за умови наявності справного мостового крана й готовності персоналу працювати з цифровою системою. Якщо кран недоступний або висота покриття не перевищує 15 м, мобільний підйомник лишається оптимальним компромісом. Традиційні рішення рекомендовані лише у випадку повної відсутності вантажопідіймальних механізмів чи жорстких бюджетних обмежень, оскільки програють конкурентам за всіма основними показниками терміну й ресурсомісткості.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. У цьому розділі було створено модель для аналізу тривалості виконання робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Для створення моделі було виконано експертне оцінювання вагомості критеріїв та їх ранжування, що дозволило оцінювати вплив кожного з критеріїв на тривалість виконання робіт з відновлення конструкцій пошкоджених будівель. Представлена модель дозволяє виконувати порівняння методів відновлення пошкоджених конструкцій для визначення методу, що забезпечує найбільш ефективне скорочення тривалості виконання робіт з відновлення та зменшення термінів простою критично важливого підприємства. Для аналізу було виконано дослідження чотирьох сценаріїв відновлення пошкоджених конструкцій. Розглянуто виконання робіт з залученням риштування, ножичного підйомника, монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран, а також монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран, з інтеграцією інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення (ІМСОП).

Порівняльний аналіз критеріїв та факторів за принципом TOPSIS для чотирьох методів відновлення показав, що найшвидшим є метод D (виконання робіт з використанням монтажного майданчика та залученням ІМСОП), однак необхідно відмітити, що метод C (виконання робіт з використанням монтажного майданчика) має дуже незначне відставання за рейтингом і складає $<1\%$. Це вказує на те, що залучення ІМСОП у методі відновлення має некритичний вплив на скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства. Однак недостатня поширеність цієї системи серед експертів могла призвести до недооцінювання її ефективності щодо скорочення тривалості виконання робіт.

2. На основі узагальнення результатів обстежень конструкцій, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів, сформовано ідеальну модель об'єкта досліджень. За ідеальну модель взято залізобетонну одноповерхову каркасну будівлю прольотом 24-м, кроком колон 12 м, перекриту великопролітною арочною розкісною фермою, колони двогілкові висотою 10,4 м, плити перекриття ребристі шириною 3 м та

довжиною 12 м. Дана модель репрезентує найбільш розповсюджену промислову будівлю в промислових зонах великих індустріальних міст на території України. Основним нестандартним дефектом від позапроектного впливу, що не має традиційних (попередньо розроблених і занесених до бази даних) проектних рішень, виділено повне руйнування розкосу або стійки багатопролітної ферми.

3. На основі ідеального об'єкту розроблена концепція та методика інформаційного моделювання протиаварійного підсилення пошкоджених конструкцій. Запропоновано одинадцять етапів проведення моделювання пошкодженого елемента. Основними етапами можна виділити створення розрахункової моделі в нелінійній постановці з врахуванням отриманих пошкоджень, моделювання підпирання пошкодженої конструкції з піддомкращуванням у проектне положення та моделювання протиаварійного підсилення пошкодженої конструкції.

4. Для розроблених чотирьох основних сценаріїв проведення робіт з тимчасового підпирання та подальшого відновлення конструкцій, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів, проведено оцінку середніх тривалостей простих процесів з залученням експертів для кожного з обраних сценаріїв. Для кожного процесу виділено дев'ять етапів, для яких було проведено оцінювання і побудовано діаграми Гранта.

Порівняльний аналіз чотирьох сценаріїв протиаварійного підсилення показав, що традиційні риштування є найменш ефективними за часом і трудовитратами. Мобільний підйомник дозволяє істотно скоротити тривалість робіт завдяки швидкому доступу до зони пошкодження, однак зберігає необхідність часткового розбору завалів. Використання монтажного майданчика дає додаткові переваги за рахунок організації доступу зверху без потреби розбору завалів та зменшення висоти стійок для підпирання. Найкращі результати демонструє комбінація майданчика з інформаційно-математичною системою, яка оптимізує прийняття рішень і зменшує організаційні затримки. Вибір оптимального підходу залежить від технічних можливостей об'єкта та готовності до цифрових рішень.

РОЗДІЛ 4.

РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Розробка структури модулів програмного забезпечення оптимізації вибору організаційно-технологічних рішень

Для розробки спеціалізованого інструменту, здатного інтегрувати дані з обстежень, алгоритмічно підбирати та порівнювати варіанти підсилення, зводячи до мінімуму вплив людського фактору, запропонована інформаційно-математична система, яка має забезпечити єдиний цифровий простір для швидкого й обґрунтованого прийняття рішень на всіх етапах ліквідації та локалізації розвитку руйнувань. Загальні схеми структури цієї системи наведені у підрозділі 2.4 даної роботи на рисунках 2.5-2.6.

Основна структура Модуля 1 «Ввід інформації» наведена у таблиці 4.1

Таблиця 4.1

Модуль 1 «Ввід інформації» (перше звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 1 (перше звернення)	Ввід об'ємно-планувальних рішень	1	Тип будівлі:	Обрати з БД
		2	Поверховість:	Обрати з БД або ручне введення
		3	Кількість прольотів:	Обрати з БД або ручне введення
		4	Ширина прольоту:	Обрати з БД або ручне введення
		5	Крок колон:	Обрати з БД або ручне введення
		6	Висота колон:	Обрати з БД або ручне введення
	Запис обраних відповідей для подальшої обробки			
	Уточнення параметрів конструктивних елементів	1	Тип колон:	Обрати з БД або ручне введення
		2	Тип пролітних конструкцій покриття	Обрати з БД або ручне введення
		3	Тип плит покриття	Обрати з БД або ручне введення
		4	Тип підкранових балок	Обрати з БД або ручне введення (за наявності)
	Запис обраних відповідей для подальшої обробки модулем 2а			

(джерело: розробка автора)

Після введення вихідних даних до Модуля 1, програма фіксує отримані данні та виконується автоматичний перехід до Модуля 1а «Обстеження» (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2

Модуль 1а «Обстеження технічного стану»

Назва модуля	Опис модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 1а	Оцінка технічного стану конструкцій	1	Пошкодження конструкцій колон	Так/Ні
		2	Пошкодження пролітних конструкцій покриття	Так/Ні
		3	Пошкодження плит покриття	Так/Ні
		4	Пошкодження підкранових балок	Так/Ні (за наявності)
		5	Визначений технічний стан	1-4 к.т.с.
	Запис обраних відповідей для подальшої обробки			
	Детальний опис дефектів та пошкоджень будівлі (може бути імпортований з модуля для виконання технічного обстеження)	1	Пошкодження колон (за наявності):	Обрати з БД або ручне введення (можливо борати одразу декілька варіантів)
		2	Пошкодження пролітних конструкцій покриття (за наявності):	Обрати з БД або ручне введення (можливо борати одразу декілька варіантів)
		3	Пошкодження плит покриття (за наявності):	Обрати з БД або ручне введення (можливо борати одразу декілька варіантів)
		4	Пошкодження підкранових балок (за наявності):	Обрати з БД або ручне введення (можливо борати одразу декілька варіантів)
	Запис обраних відповідей для подальшої обробки у Модулі 2а			

(джерело: розробка автора)

За результатами введення інформації з Модулів 1 та 1а відбувається звернення програми до Модуля 2а «Аналітичний» (таблиця 4.3) для порівняння з існуючими базами даних. У разі відсутності збігів просить виконати доповнення існуючих баз даних.

Таблиця 4.3

Модуль 2а «Аналітичний» (перше звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 2а (перше звернення)	Структурування та аналіз результатів отриманих від Модуля 1 та Модуля 1а	1	Аналіз та доповнення бази даних об'ємно планувальних рішень	-
		2	Аналіз та доповнення бази даних типових пошкоджень конструкцій	-
	Доповнення баз даних, формування результатів аналізу, перехід до Модуля 3			

(джерело: розробка автора)

Після аналізу отриманих вихідних даних у Модулі 2а виконується автоматичний перехід до Модуля 3 «Підпирання» (таблиця 4.4) у якому формується попередні результати з можливими варіантами підпирання конструкцій з баз даних, або ввести уточнюючі параметри. Після ознайомлення з інформацією виконується перехід до затвердження вибору безпосередньо користувачем (таблиця 4.5).

Таблиця 4.4

Модуль 3 «Підпирання» (перше звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 3 (перше звернення)	Рекомендовані типи тимчасового підпирання конструкцій	1	Рекомендований тип тимчасового підпирання конструкції колон (за наявністю):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)

	надані з існуючих БД	2	Рекомендований тип тимчасового підпирання пролітних конструкцій покриття (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
		3	Рекомендований тип тимчасового підпирання плит покриття (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
		4	Рекомендований тип тимчасового підпирання підкранових балок (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
	Перехід на індивідуальне проєктування у разі відсутності необхідних рішень у БД (Перехід до модуля 2 b)	1	Структурування попередньо введених даних для формування індивідуального технічного завдання	Індивідуальне технічне завдання для наявного сценарію пошкодження
	Ознайомлення з проміжною інформацією, перехід до вибору методу виконання робіт з відновлення			

(джерело: розробка автора)

Таблиця 4.5

Модуль 3 «Підпирання» (друге звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 3	Вибір методу тимчасового підпирання	1	Вибір методу тимчасового підпирання (робиться вручну користувачем):	Використання методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою риштувань
		2		Використання методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою ножичного підйомнику

		3		Можливість використання методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран
Перехід до формування та виведення результатів				
Результати для обраного методу №1 (опціонально)		1	Метод тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою риштувань	Користувачу надається інформація про технічні характеристики та параметри існуючих риштувань (за наявністю можуть бути надані рекомендації та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначено сценарію пошкодження будівлі)
Вивід даних у табличній формі в Модулі 2а для аналізу можливості використання				
Результати для обраного методу №2 (опціонально)		1	Метод тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою ножичного підйомнику	Користувачу надається інформація про технічні характеристики та параметри існуючих ножичних підйомників (за наявністю можуть бути надані рекомендації та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначено сценарію пошкодження будівлі)
Вивід даних у табличній формі в Модулі 2а для аналізу можливості використання				
Результати для обраного методу №3 (опціонально)		1	Метод тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран	Перехід у Модуль 1 для додаткового введення і уточнення вихідних даних для реалізації методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран (розробка автора)
Перехід до Модуля 1 для уточнення вихідних даних				

(джерело: розробка автора)

В залежності від вибору параметру у Модулі 3 (друге звернення) можливий перехід до остаточного формування результатів, або повторного виклику Модуля 2а для оцінки можливості виконання підпирання. Однак при виборі методу

підпирання з монтажного майданчика буде виконано перехід до Модуля 1 (таблиця 4.6) для уточнення вихідних даних.

Таблиця 4.6

Модуль 1 «Ввід інформації про будівлю» (друге звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 1 (друге звернення)	Уточнення параметрів для визначення можливості використання методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран	1	Фактична наявність мостового крану в зоні пошкодження будівлі	<u>Так/ні</u>
		2	Технічний стан мостового крану	<u>Технічно справний/відсутність електропостачання/не придатний до експлуатації</u>
		3	Технічний стан підкранових шляхів і можливість їх відновлення	<u>Не пошкоджені/можливий локальний ремонт/ не придатні до експлуатації</u>
		4	Паспортна вантажопідйомність мостового крану	Обрати з БД або ручне введення
		5	Відстань від рейок коретки крану до низу пролітних конструкцій покриття	Обрати з БД або ручне введення
	Запис обраних відповідей для подальшої обробки модулем 2а			
	Ввід додаткових вихідних даних для аналізу можливості реалізації методу тимчасового підпирання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика	1	Вибір необхідного принципу підпирання пошкодженої конструкції	Користувач вказує бажану кількість підпірок яку треба встановити під конструкцію
		2	Введення основних параметрів кліматичних навантажень на конструкції будівлі	Користувач вказує зону для снігового та вітрового навантаження згідно "ДБН В.1.2-2 2006. Навантаження і впливи"

		3	Введення значення навантаження від конструкції покриття	Користувач вказує попередньо визначені значення навантажень на 1 м ² від конструкції покриття
	Аналіз додаткових вихідних даних та порівняння їх з контрольними параметрами для формування результатів з визначенням можливості використання методу. Запис обраних відповідей для подальшої обробки модулем 2а			

(джерело: розробка автора)

Для обробки результатів викликається Модуль 2а з інтерфейсом для аналізу додаткових даних (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7

Модуль 2а «Аналітичний» (друге звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 2а (друге звернення)	Автоматичне визначення можливості використання методів тимчасового підпірання за допомогою аналізу отриманих вихідних даних модуля 1 та 1а	1	Можливість використання методу тимчасового підпірання пролітних конструкцій за допомогою риштувань	<u>Так</u> / ні (відповідь надається автоматично)
		2	Можливість використання методу тимчасового підпірання пролітних конструкцій за допомогою ножичного підйомнику	<u>Так</u> / ні (відповідь надається автоматично)
		3	Можливість використання методу тимчасового підпірання пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран	<u>Так</u> / ні (відповідь надається автоматично)
	Формування результатів аналізу для модуля 5			

(джерело: розробка автора)

В процесі роботи модуля проводиться додатковий аналіз з фіксацією обраних результатів та перехід до Модуля 4 «Відновлення» в якому формуються попередні

варіанти відновлення конструкцій в залежності від попередньо введених параметрів (таблиця 4.8). Після ознайомлення з інформацією виконується перехід до затвердження вибору безпосередньо користувачем (таблиця 4.9).

Таблиця 4.8

Модуль 4 «Відновлення» (перше звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 4 (перше звернення)	Рекомендовані типи відновлення конструкцій надані з існуючих БД	1	Рекомендований тип відновлення конструкції колон (за наявністю):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
		2	Рекомендований тип відновлення пролітних конструкцій покриття (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
		3	Рекомендований тип відновлення плит покриття (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
		4	Рекомендований тип відновлення підкранових балок (за наявності):	Наданий результат з БД (Надається максимально можлива кількість варіантів, що можливо застосувати)
	Перехід на індивідуальне проєктування у разі відсутності необхідних рішень у БД (Перехід до модуля 2 b)	1	Структурування попередньо введених даних для формування індивідуального технічного завдання	Індивідуальне технічне завдання для наявного сценарію пошкодження

	Ознайомлення з проміжною інформацією, перехід вибору методу виконання робіт з відновлення конструкцій	
--	---	--

(джерело: розробка автора)

Таблиця 4.9

Модуль 4 «Відновлення» (перше звернення)

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 4	Вибір методу відновлення (безпосередньо за участі користувача)	1	Вибір методу відновлення (робиться вручну користувачем):	Використання методу відновлення пролітних конструкцій за допомогою риштувань
		2		Використання методу відновлення пролітних конструкцій за допомогою ножичного підйомнику
		3		Можливість використання методу відновлення пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран
	Перехід до формування та виведення результатів			
	Результати для обраного методу №1 (опціонально)	1	Метод відновлення пролітних конструкцій за допомогою риштувань	Користувачу надається інформація про технічні характеристики та параметри існуючих риштувань (за наявністю можуть бути надані рекомендації та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначено сценарію пошкодження будівлі)
Вивід даних у табличній формі в Модулі 2а для аналізу можливості використання				

	Результати для обраного методу №2 (опціонально)	1	Метод відновлення пролітних конструкцій за допомогою ножичного підйомнику	Користувачу надається інформація про технічні характеристики та параметри існуючих ножичних підйомників (за наявності можуть бути надані рекомендації та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначеного сценарію пошкодження будівлі)
	Вивід даних у табличній формі в Модулі 2а для аналізу можливості використання			
	Результати для обраного методу №3 (опціонально)	1	Метод відновлення пролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика встановленого на мостовий кран	Користувачу надається інформація про технічні характеристики та параметри існуючого у будівлі мостового крану (за наявності можуть бути надані рекомендації та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначено сценарію пошкодження будівлі) (розробка автора)
	Вивід даних у табличній формі в Модулі 2а для аналізу можливості використання			

(джерело: розробка автора)

Обрані результати передаються у Модуль 2а для аналізу, та подальшого формування результатів у Модулі 5 «Формування звіту» (Таблиця 4.10).

Таблиця 4.10

Модуль 5 «Формування звіту»

Назва модуля	Опис модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 5	Формування остаточних результатів для методу	1	Загальні параметри монтажного майданчику	Геометричні характеристики монтажного майданчику
				Загальна вага монтажного майданчику

				Рекомендована висота над конструкцією мостового крану
		2	Рекомендовані інвентарні підпірки	Тип №1
				Тип №2
				Тип №3
		3	Рекомендовані місця влаштування тимчасових підпірок	Детальне місце розташування з прив'язкою до вузлів конструкції чи осей
		4	Зусилля в елементах підпирання	Наведена таблиця зусиль в підпірках для рекомендованого розташування
		5	Зусилля в стайках в процесі піддомкращування	Наведена таблиця зусиль у стайках в залежності від висоти підймання конструкції
		6	Принципи застосування:	Наведені загальні рекомендації з використання методу
				Принципи монтажу (технічна карта)
				Першочергові заходи безпеки
				Корисні поради та застереження з врахуванням досвіду попередніх застосувань даного методу для визначено сценарію пошкодження будівлі
		7	Додаткове опційне обладнання (навісне)	Підйомні механізми для матеріалів
				Піддомкратники
				Риштування
				Ножничні підйомники
				Додаткові огорожі та місця кріплення монтажних поясів
				Стаціонарне робоче місце зварника
		Вивід даних у табличній формі в форматі .pdf		

(джерело: розробка автора)

Результатом роботи Модуля 5 буде отримання користувачем звіту з зазначенням основних вихідних даних з Модуля 1 та Модуля 1а, результатами вибору методів підпирання у Модулі 3 з детальною інструкцією до виконання та рекомендаціями, що містять досвід попередніх аналогічних робіт. Також аналогічно до Модуля 3 формуються і виводяться результати для Модуля 4.

Додатковою функцією програмного комплексу є Модуль 2б «Розрахунковий» (Таблиця 4.11), який по запиті Модуля 2а від Модулів 3 та 4 може створювати файл для імпорту у програмні комплекси розрахункової схеми з подальшим експортом отриманих результатів та передачею їх безпосередньо до Модулів 3 та 4 в якості результатів для формування звіту.

Таблиця 4.11

Модуль 2б «Розрахунковий»

Назва модуля	Опис роботи модуля	№ параметра	Параметри	Вибраний або наданий результат
Модуль 2б	Експорт отриманих даних у розрахунковий програмний комплекс	1	Структурування даних отриманих з Модуля 1 та Модуля 1а	-
		2	Формування .txt файлу для експорту у розрахункові програмні комплекси	.txt файл, що формує у програмному комплексі розрахункову схему
	Імпорт отриманих даних з розрахункових програмних комплексів	3	Зчитування результатів розрахунку програмного комплексу з файлу формату .txt	-
		4	Аналіз та внесення отриманих результатів до бази даних	-
	Доповнення баз даних, формування результатів аналізу, передача отриманих результатів у Модуль 3 або Модуля 4			

4.2. Приклад розрахунку для вибору методу протиаварійного підсилення

Наведемо приклад розрахунку ферми прольотом 24 м, основними завданнями якого є: перевірка відсутності загального руйнування її конструкції при втраті елемента на різних етапах тимчасового підсилення з використанням монтажного майданчика та сталевих стояків; визначення ефективності розвантаження пошкодженої ферми при даному підсиленні з врахуванням обмеження сумарного допустимого навантаження (складає 100 кН), що передається стояками на монтажний майданчик.

На початку розглядаються пошкодження розкосів та стійок конструкцій ферми без влаштування додаткових підпірок та без підсилення конструкцій ферми, тобто залишкова несуча здатність основної конструкції з отриманим дефектом. Здебільшого конструкції ферм, які отримали такого типу пошкодження, мають знижене навантаження через падіння одного ряду плит, тому у роботі розглянуто варіант навантаження, зменшеного в два рази у порівнянні з повним.

Будівля розглядається з прольотами 24 м з кроком ферм 12 м. Плити покриття ребристі розміром 3х12 м, без ліхтарів.

Основні навантаження, що враховувалися при розрахунках:

- 1) власна вага ферми;
- 2) попереднє напруження ферми;
- 3) власна вага конструкцій плит покриття (35 кН на вузол);
- 4) вага шарів покриття (табл. 4.2).

У розрахунковій схемі врахований ексцентриситет прикладання навантаження від плит покриття, що дозволяє більш детально проаналізувати роботу пошкодженої конструкції. Загальна розрахункова схема конструкції залізобетонної ферми наведена на рис. 4.1. Розглянуті схеми пошкоджених конструкцій, що підлягають аналізу, наведені на рис. 4.2.

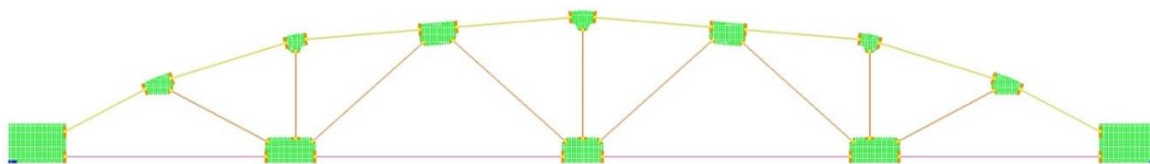


Рисунок 4.1. Загальна розрахункова схема конструкції залізобетонної ферми

Таблиця 4.2

**Склад основних розрахункових вертикальних навантажень на 1 м²
конструкції покриття**

Навантаження	Нормативне значення навантаження, кН/м ²	Коеф. надійності за навантаженням, γ_{fn}	Розрахункове значення навантаження, кН/м ²
Три шари руберойду	0.050	1.2	0.060
Цементно-піщана стяжка ($t=50$ мм)	0.883	1.1	0.971
Засипка керамзитом ($t=150$ мм)	0.736	1.2	0.883

Розташування дефекту за схемою 1



Розташування дефекту за схемою 2



Розташування дефекту за схемою 3



Розташування дефекту за схемою 4



Розташування дефекту за схемою 5



Рисунок 4.2. Схеми розташування дефекту ферми

В цілому розглядається наступний сценарій, змодельований у розрахунку. Початково пошкоджена ферма сприймає зменшені (без врахування обвалених плит покриття) навантаження без розвантажувальних стояків та елементів підсилення. З метою розвантаження пошкодженої ферми перед підсиленням та повноцінного включення майбутніх елементів підсилення у роботу влаштовуються відповідні сталеві стояки (зі спиранням на них ферми у вузлах). Шляхом піддомкращування відбувається включення даних елементів в роботу зі сприйняттям частини навантаження від ферми. Критерієм завершення процесу є виведення точки спирання ферми на стояк у початковий стан до прикладення навантажень (результативне переміщення по вертикальній вісі $\Delta_z = 0$). У випадку застосування 2-х стояків в нуль виводиться точка спирання найбільш завантаженого стояку.

Розрахунок проводиться у нелінійній постановці з врахуванням характеристичних значень міцнісних параметрів матеріалів залізобетону, що є допустимим для перевірки надійності в аварійних розрахункових ситуаціях згідно ДБН [15, 16]. В такому випадку на кожному кроці розрахунку контролюється відсутність загального руйнування конструкції ферми.

Для всіх схем розташування пошкодження (рис. 4.2) розглянутий варіант спирання одного стояку посередині нижнього поясу (рис. 4.3), за виключенням схеми 5, для якої відбулася втрата середнього вертикального елемента ферми, що створює несприятливий напружено-деформований стан при підпиранні ферми під середнім нижнім вузлом.

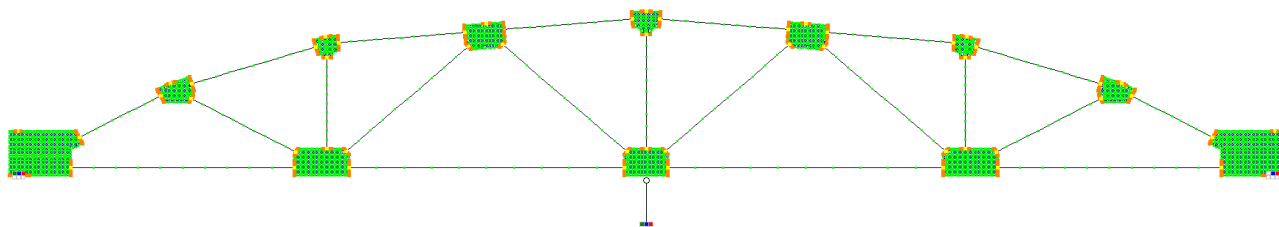


Рисунок 4.3 Варіант спирання одного стояку посередині нижнього поясу ферми

Для схем пошкоджень 1-4 на рис. 4.4 наведений розглянутий варіант підпирання 2-ма стояками.

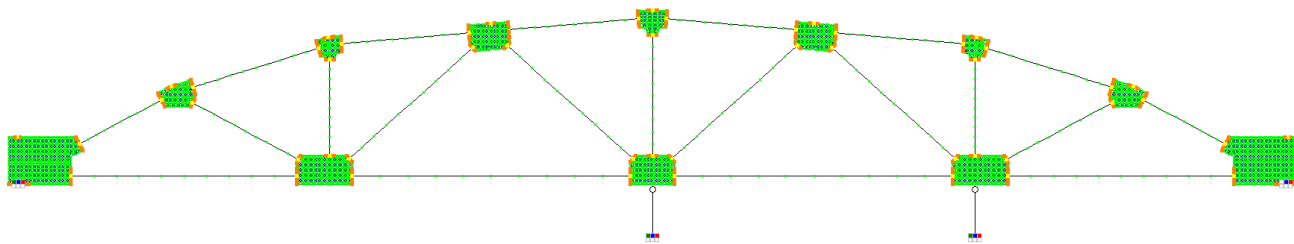


Рисунок 4.4. Варіант спирання двох стояків на вузли нижнього поясу ферми

Для схеми 5 та додатково для схеми 4 (підваріант 4б) розглянутий варіант на рис. 4.5.

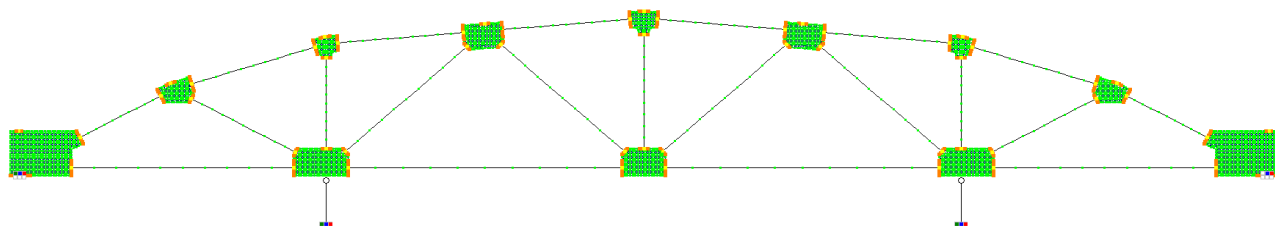


Рисунок 4.5. Варіант симетричного спирання двох стояків на вузли нижнього поясу ферми

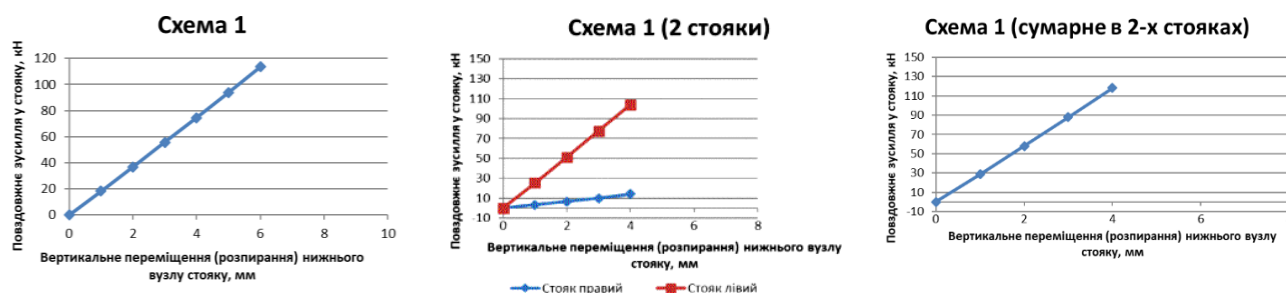


Рисунок 4.6. графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 1.

За результатами нелінійних розрахунків за всіма схемами ушкоджень загального руйнування ферми до появи розвантажувальних стояків не відбулося для жодної з них.

Для оцінки варіантів підпирання стояками складені графіки залежності повздовжнього зусилля в них від деформаційного навантаження у нижньому вузлі стояку, завданого вертикальним зміщенням у міліметрах. При аналізі розрахунків враховано обмеження сумарного навантаження на стояки 100 кН.

На рис. 4.6 наведені графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 1. З наведених графіків можливо зробити висновок про приблизно однакову ефективність варіантів з одним стояком та з двома з точки зору необхідного сумарного зусилля піддомкращування. При цьому незначна перевага є у варіанту з одним стояком (113 кН зусилля проти 118 кН, різниця менше 5%). Враховуючи обмеження зусилля у 100 кН, рівень розвантаження ферми може бути досягнутий на рівні 85-88% від спочатку запланованого.

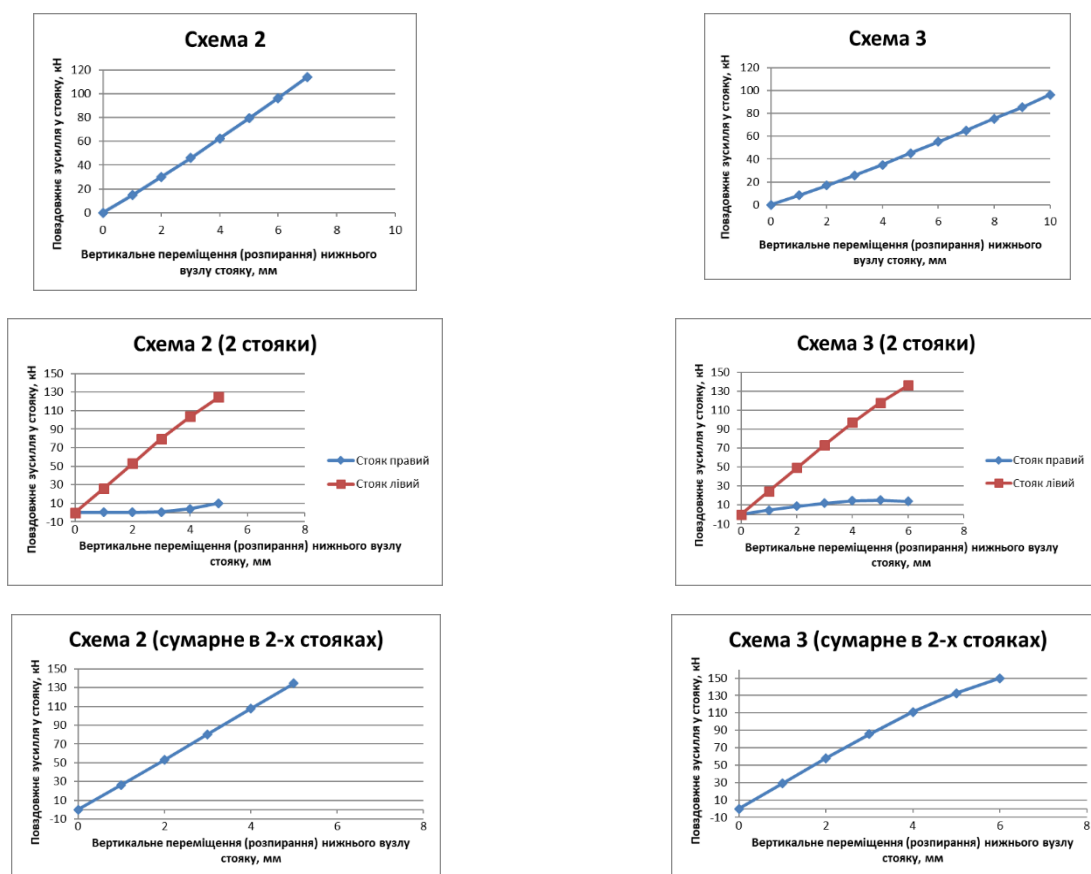


Рисунок 4.7. Графіки зусиль у стояках
для схеми пошкодження 2

Рисунок 4.8. Графіки зусиль у стояках
для схеми пошкодження 3

На рис. 4.7 наведені графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 2. З наведених графіків можливо зробити висновок про перевагу варіанту з одним стояком у порівнянні з двома (114кН зусилля проти 134кН, різниця 15%). Враховуючи обмеження зусилля у 100 кН, рівень розвантаження ферми може бути

досягнутий на рівні 88% від спочатку запланованого для варіанту з одним стояком та 75% для 2-х стояків.

На рис. 4.8 наведені графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 3. З наведених графіків можливо зробити висновок про значну перевагу варіанту з одним стояком у порівнянні з двома (96 кН зусилля проти 150 кН, різниця у 1,56 рази). Враховуючи обмеження зусилля у 100 кН, рівень розвантаження ферми може бути досягнутий повністю відповідно до спочатку запланованого для варіанту з одним стояком та всього 67% для 2-х стояків.

На рис. 4.9 наведені графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 4. З наведених графіків можливо зробити висновок про значну перевагу варіанту з одним стояком у порівнянні з двома (53 кН зусилля проти 115 кН для підваріанту 4а та 161 кН для підваріанту 4б, різниця у 2,17-3,04 рази). Враховуючи обмеження зусилля у 100 кН, рівень розвантаження ферми може бути досягнутий повністю (зі значним запасом) відповідно до спочатку запланованого для варіанту з одним стояком та всього 33-46% для 2-х стояків.

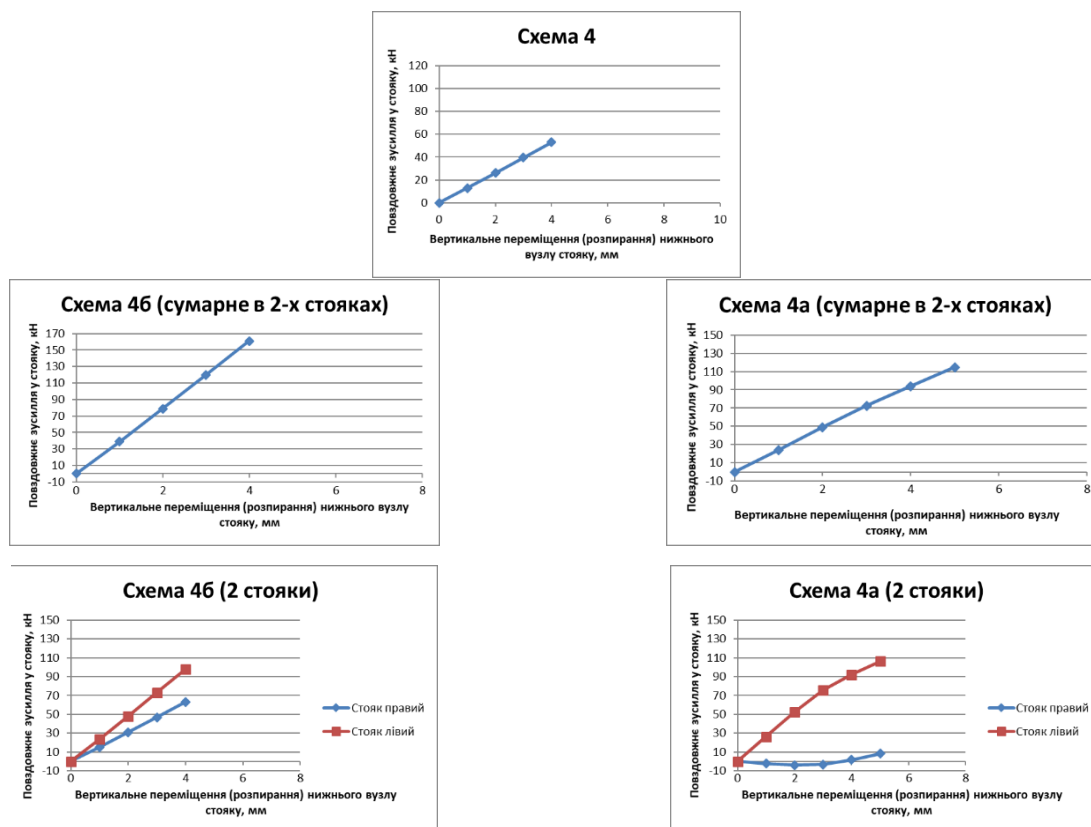


Рисунок 4.9. Графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 4

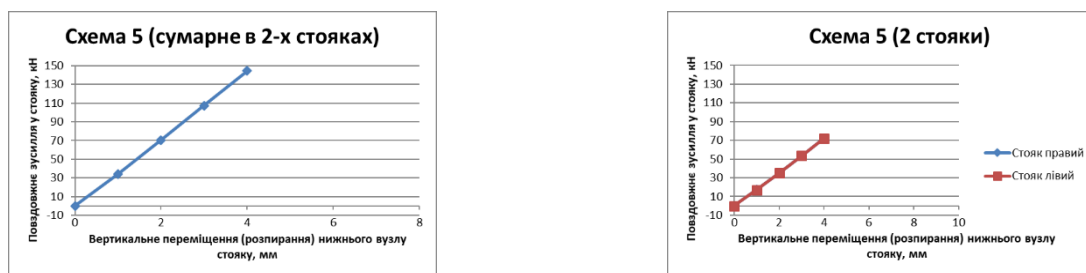


Рисунок 4.10. Графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 5

На рис. 4.10 наведені графіки зусиль у стояках для схеми пошкодження 5. Для даної схеми варіант з одним стояком не розглядався, враховуючи відсутність центрального вертикального елементу ферми (та відповідного несприятливого напружено-деформованого стану при підпиранні під центральним нижнім вузлом). Враховуючи обмеження зусилля у 100 кН, рівень розвантаження ферми може бути досягнутий всього 69% від спочатку запланованого.

Слід відмітити, що випадків загального руйнування ферми після початку влаштування монтажного майданчика з підпірними стояками не виявлено.

4.3. Впровадження основних результатів дослідження

Внаслідок впливу, не передбаченого при проєктуванні, на одному з промислових підприємств було ушкоджено огорожуючі та несучі покриття. Повністю або частково було зруйновано плити покриття з гідро- теплоізоляційним шаром та значні ушкодження зазнала ферма та зв'язки конструкції покрівлі (Рис. 4.11)

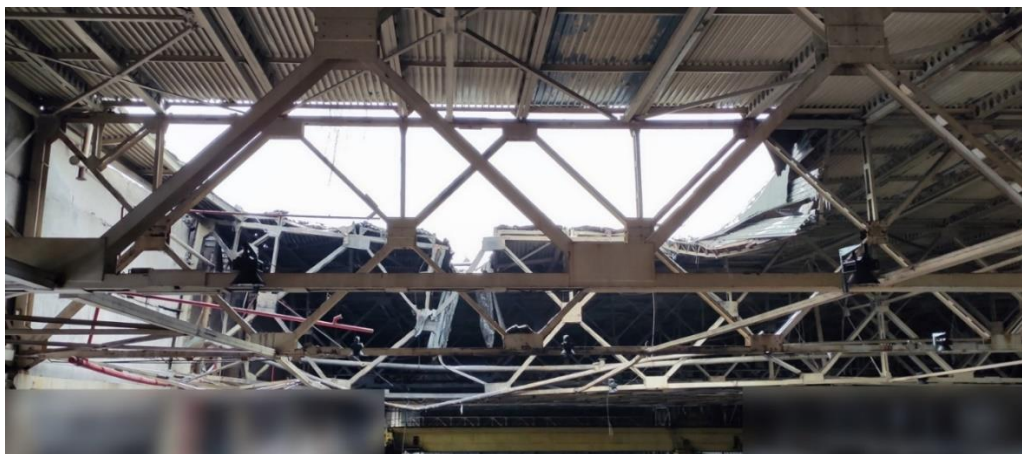


Рисунок 4.11 Ділянка ушкодженого покриття

Для унеможливлення подальшого руйнування покриття та непередбаченого обрушення конструкцій необхідно було передбачити ряд стабілізаційних заходів. Організаційно ці заходи були розділені на етапи: першочергові, ізоляційні та відновлення.

Першочергові протиаварійні заходи включали в себе організаційно-технологічні рішення з тимчасовим використанням наявного потужного двобалкового мостового крану (Рис. 4.12) у якості несучої опори та локального будівельного майданчика для проведення протиаварійних робіт.

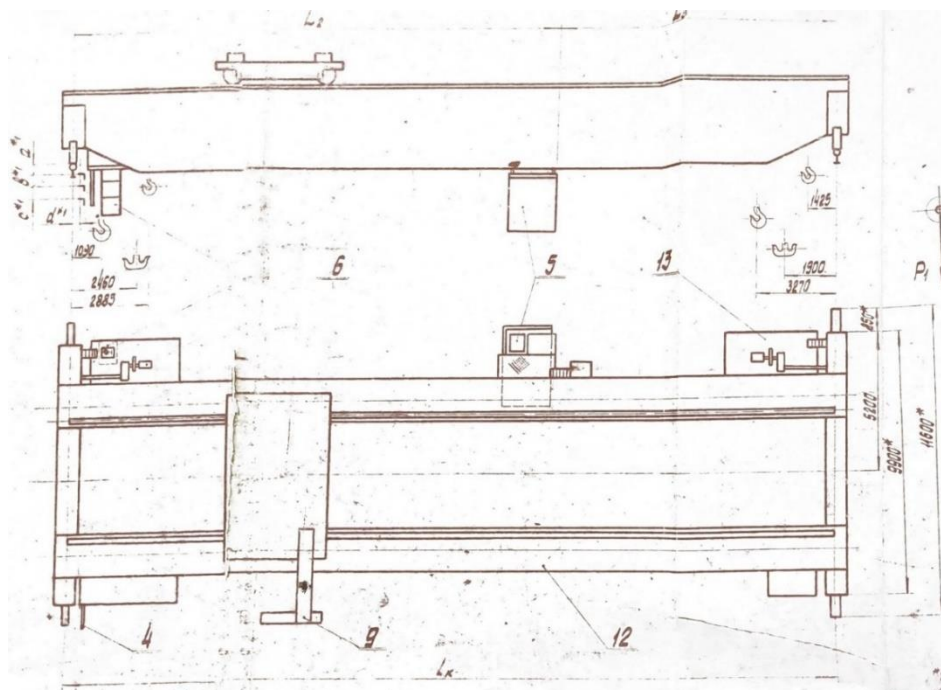


Рисунок 4.12. Конструкція мостового крану, що влаштований на підприємстві

Першочергові заходи включали в себе наступний перелік робіт, що були включені в розділ ПОБ:

- влаштування тимчасових стійок між ушкодженою фермою та мостовим краном (рис. 4.13);
- влаштування додаткових елементів та часткове відновлення ушкоджених елементів ферми (розкосів, стійок) металевим прокатом з кутика (рис. 3.4);
- розрізання нижнього поясу ферми для можливості максимального підняття ферми в вертикальному напрямку. Підйом частин ферми на максимальну висоту (найближче до проектного положення) в вертикальному напрямку;

- тимчасове відновлення верхнього та нижнього поясів пошкодженої ферми зварними елементами з листа (рис. 4.13, 4.14);
- демонтаж тимчасових стійок з під ферми;
- паралельне з роботами геодезичне супроводження положення ушкоджених та розташованих поряд вцілілих конструктивних елементів для своєчасного реагування на можливі непрогнозовані зміщення та деформації елементів;
- паралельно з протиаварійними роботами виконано розрахунок деформованої схеми ферми з підбором перерізів тимчасових елементів підсилення на дію нормативних навантажень (без врахування погіршуючих коефіцієнтів – по матеріалу, класу наслідків, як для тимчасової конструкції).

Влаштування тимчасових стійок (рис. 4.14) виконувалось з застосуванням домкратів, які в подальшому використовувались для максимального відновлення геометрії розташування ушкодженої ферми.

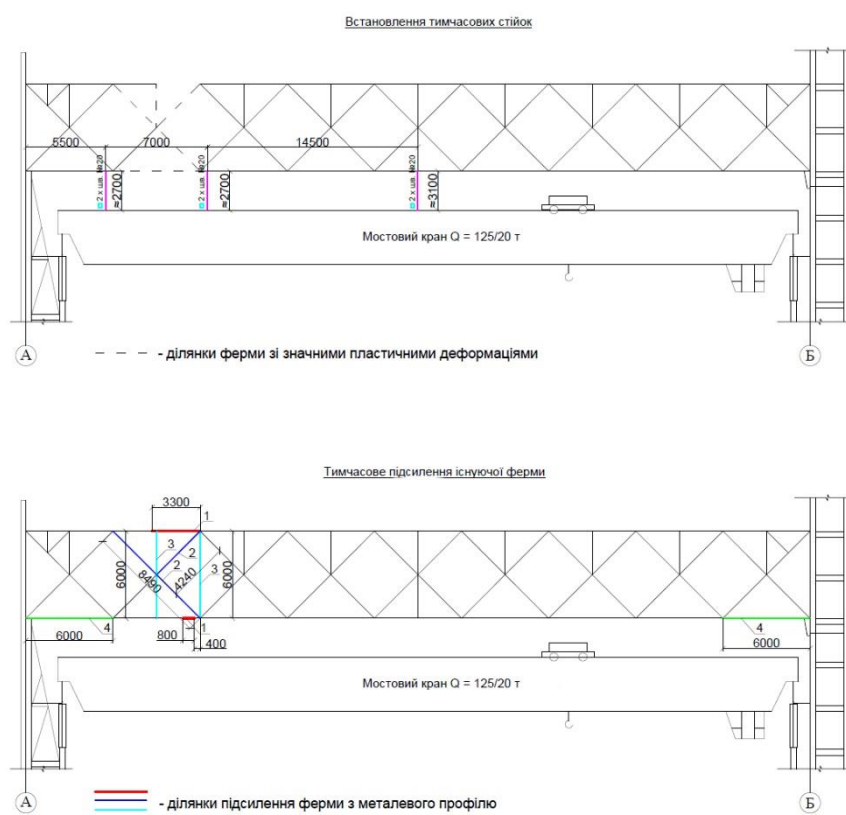


Рисунок 4.13 Першочергові протиаварійні рішення



Рисунок 4.14 Реалізація першочергових протиаварійних заходів з піддомкрачуванням ферми за допомогою домкратів

Після виконання робіт що забезпечували стабілізацію та стійкість деформованої системи, були передбачені роботи що забезпечили тимчасову ізоляцію покриття. Такі роботи необхідні у зв'язку з вимогою дотримання температурного та вологісного режиму в приміщенні споруди.

Ускладнюючими факторами при вирішенні цієї задачі було те, що при значних прольотах в несучих конструкціях необхідно було забезпечити максимально легкі конструкції. Такий конструктив повинен був забезпечити достатню несучу здатність від вітрового, снігового навантаження та відведення від отвору дощових та талих вод.

Ізоляційні заходи включали в себе наступний перелік робіт, що були включені в розділ ПОБ:

- влаштування на сусідній осі рами зі зварених швелерів для тимчасового тентового покриття;
- прорізання покрівлі та влаштування закладних деталей, що приварюються до прогонів, з листа, для влаштування опорних балок для тросів тенту;

- влаштування опорних балок для тросів по осях за межами прорізу зі швелеру з ребрами жорсткості в яких виконані отвори для приєднання тросів тенту;
- влаштування тенту, що приєднаний «карманами» до тросів. Троси кріпляться до опорної балки по одній осі, перекидується через раму і натягується лебідками на опорні балки по іншій осі з фіксацією тросів. По контуру тент притискається до покрівлі металевим кутиком (рис. 4.15, 4.16);
- зверху тенту влаштовуються додаткові троси для притискання тенту до нижніх тросів.

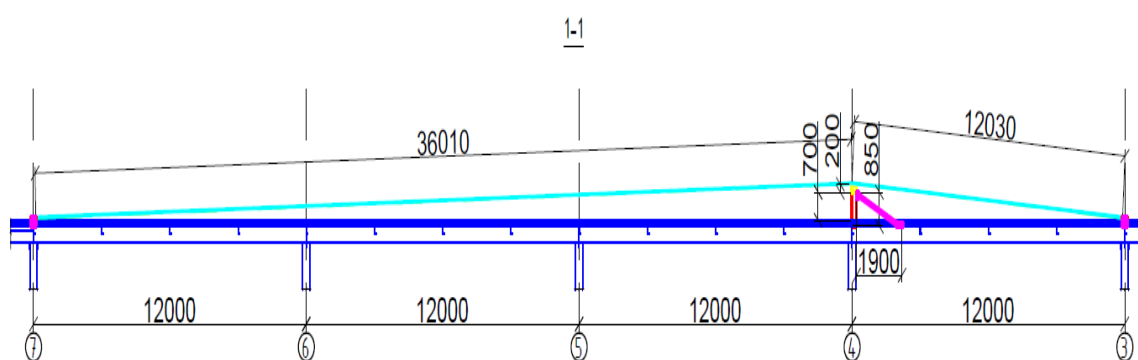


Рисунок 4.15 Проектні рішення для забезпечення ізоляції приміщення споруди



Рисунок 4.16 Влаштування тимчасового ізоляційного тенту над отвором в покритті

Проміжні етапи з першочергових та ізоляційних (рис. 4.3.6) робіт необхідні були для можливості функціонування важливого підприємства в період розробки проекту відновлення конструкцій та підготовчих робіт для проведення відновлення.

Наступним етапом для робіт з відновлення визначено – підготовчі роботи.

Для виконання робіт з відновлення ферми та зв'язків необхідно було організувати доступ до значної висоти серед габаритного обладнання. Відповідно влаштування риштування мло б дуже складну і габаритну схему і його монтаж зайняв би довгий час.

Прийнято рішення з влаштування на конструкції мостового крана тимчасового монтажного та складувального майданчика (рис. 4.17).

Передбачені розділом ПОБ рішення включали в себе формування пласкої платформи в рівні верху мостового крану. В подальшому передбачалось виконання робіт з невисоких риштувань (2-2,5 м). Передбачалось розташування даної платформи на всю довжину частини ферми, що підлягала заміні.

В подальшому в розділі ПВР дані рішення були скореговані на більш мобільний і компактний варіант. В даному варіанті (рис. 4.18) виконана платформа на колесах, що переміщувалась по рельсах кабіни мостового крана. Ця платформа виконана в менших габаритах і це значно зекономило ресурси і матеріали на її виконання. Також вона виконана на висоту комфортної роботи на висоті з відновлення ферми, що в свою чергу, відповідно, не потребувало влаштування додаткових риштувань.

Складування матеріалів та обладнання в такому випадку прийшлося перенести на існуюче перекриття в рівні верху мостового крану, що в свою чергу вплинуло на збільшення витрат часу на переміщення матеріалів та обладнання. Обсяг цих матеріалів (накладки з листової сталі, матеріали для зварювальних робіт та інші дрібні елементи та обладнання) був незначний тому значного впливу таке збільшення часу на загальні трудовитрати був незначний.

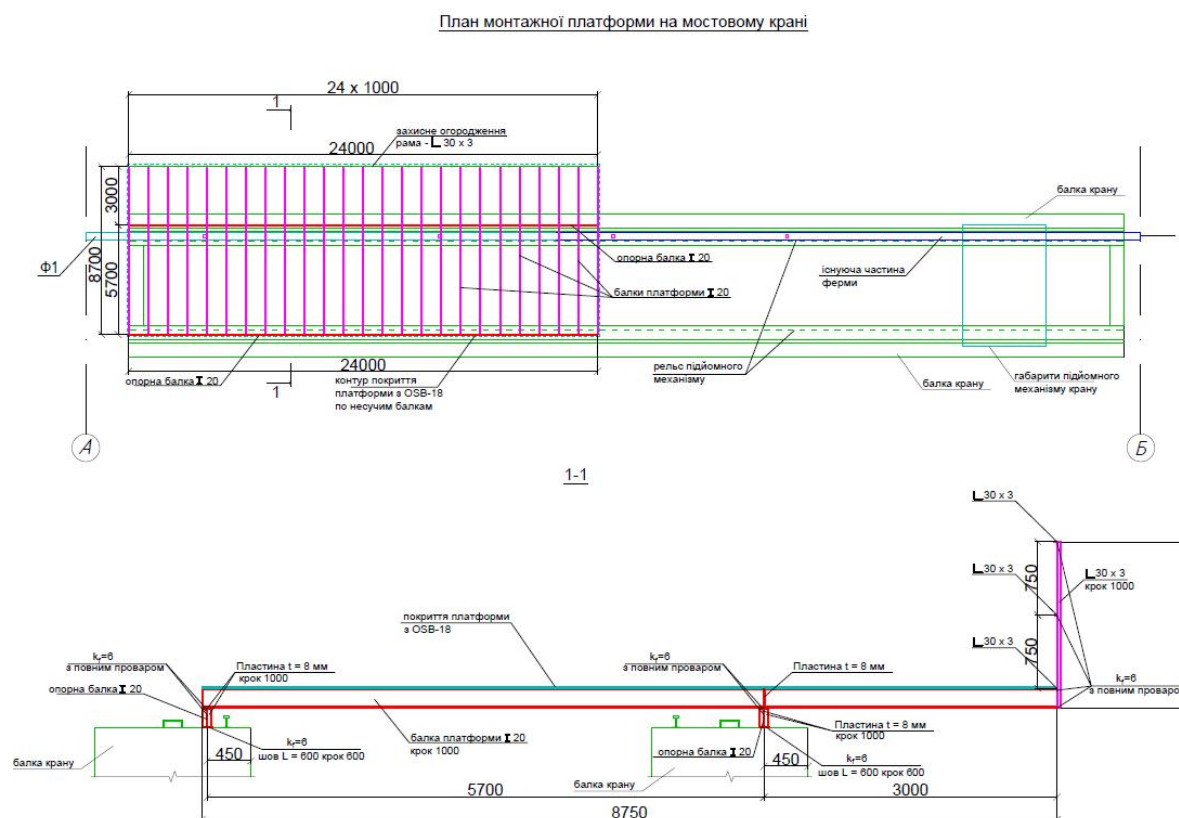


Рисунок 4.17 Варіант влаштування тимчасової монтажно́ї платформи (варіант ПОБ)



Рисунок 4.18 Реалізований варіант влаштування тимчасової монтажно́ї платформи (варіант ПВР)

Підготовчі роботи етапу відновлення ферми включають у себе:

- влаштування крану (за межами споруди), майданчику складування та монтажу. Влаштування платформи на мостовому крані для зручності монтажу (рис. 4.18, 4.19);
- демонтаж тимчасового покриття з тенту;
- демонтаж частини покрівлі до середини довжини ферми (27 м);
- демонтаж прогонів і зв'язків між сусідніми до ушкодженої фермами до середини довжини ферми (орієнтовно 27 м);
- влаштування тимчасових стійок під частиною ушкодженої ферми, що не демонтується;
- демонтаж частини ушкодженої ферми до середини довжини ферми (орієнтовно 27 м);
- підйом цілої частини ферми за допомогою домкратів до проектного положення;
- монтаж попередньо підготовленої частини ферми та приєднання до частини, що не демонтувалась (рис. 4.20, 4.21);
- влаштування зв'язків і прогонів між фермами у осях 4-6 до середини довжини ферми (орієнтовно 27 м);
- відновлення покриття з несучого металевого листового профілю і влаштування тепло- гідроізоляційних шарів;
- демонтаж тимчасових стійок з під ферми по осі 5;
- відновлення згідно існуючого проєкту системи водовідведення та охолодження (протипожежні заходи), освітлення.



Рисунок 4.19 Виконання робіт по відновленню ферми з монтажної платформи

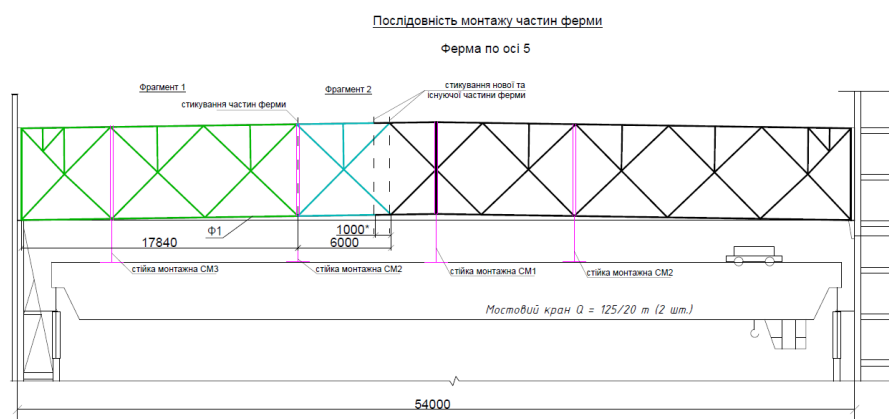


Рисунок 4.20 Послідовність встановлення нових фрагментів ферми

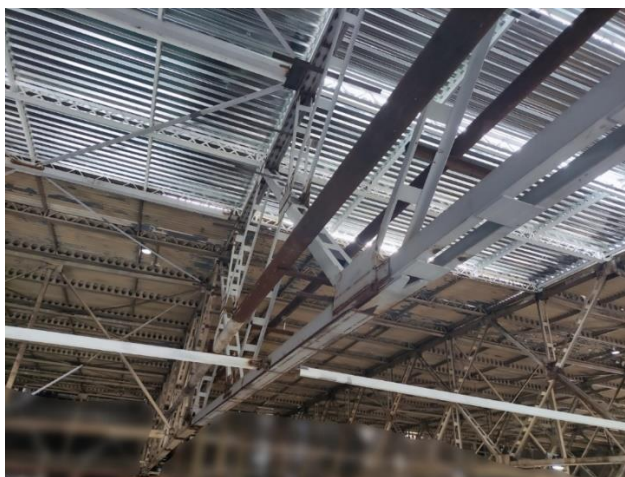


Рисунок 4.21 Монтаж нової частини ферми до неушкодженого фрагменту

Таким чином, використання мостового крану як опорної конструкції для влаштування різних тимчасових конструктивних елементів для монтажних робіт (опорних стійок, монтажної платформи та інше) на різних етапах відновлення ферми дало змогу значно скоротити час та матеріальні ресурси у порівнянні з класичними схемами з влаштуванням риштувань або інших організаційних схем.



Рисунок 4.22 Відновлена покрівля промислового підприємства

Варіант, який був застосований, дозволив виконати відновлення покрівлі (рис.4.22), що була ушкоджена внаслідок позапроектного впливу, мінімізуючи втручання на виробничий процес і час простою обладнання промислового підприємства.

Узагальнюючи досвід виконання робіт з застосуванням монтажного майданчика, влаштованого на мостовому крані, було прийнято рішення про створення технологічної карти на даний ти робіт.

На підставі матеріалів, отриманих у роботі автора, виконано розділи технічної карти, в яких описано основні принципи використання монтажного майданчика для мостового крану та узагальнені технічні параметри для виконання тимчасового підпирання конструкцій покриття за допомогою монтажного майданчика. Технічна карта розробляється та готується для друку у Державному

підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С.Балицького» (ДП «НДІБВ»).

Запропоновані основні принципи експлуатації монтажного майданчика:

- схеми монтажу монтажного майданчика на конструкцію мостового крану (рис. 4.23, рис. 4.24).

- схеми подальшої експлуатації – доступ людей до монтажного майданчика, подача матеріалів та обладнання (рис.4.25 - рис. 4.27).

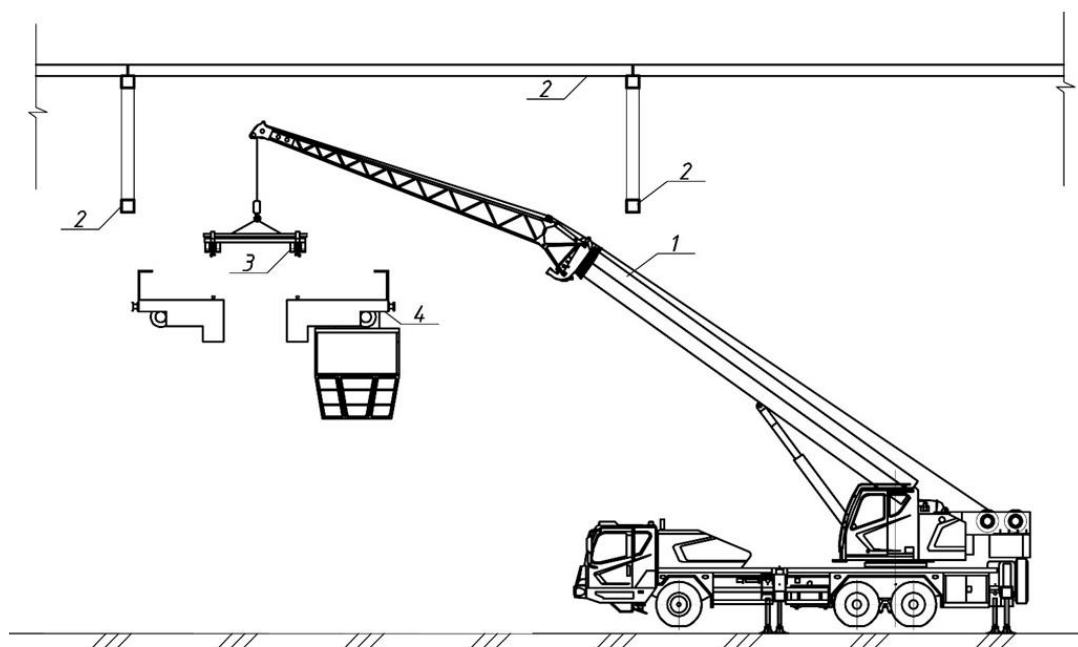


Рисунок 4.23 Встановлення монтажної майданчика на конструкцію мостового крану за допомогою автокрану: 1 – автокран, 2 – несучі конструкції, 3 – монтажна платформа, 4 – мостовий кран.

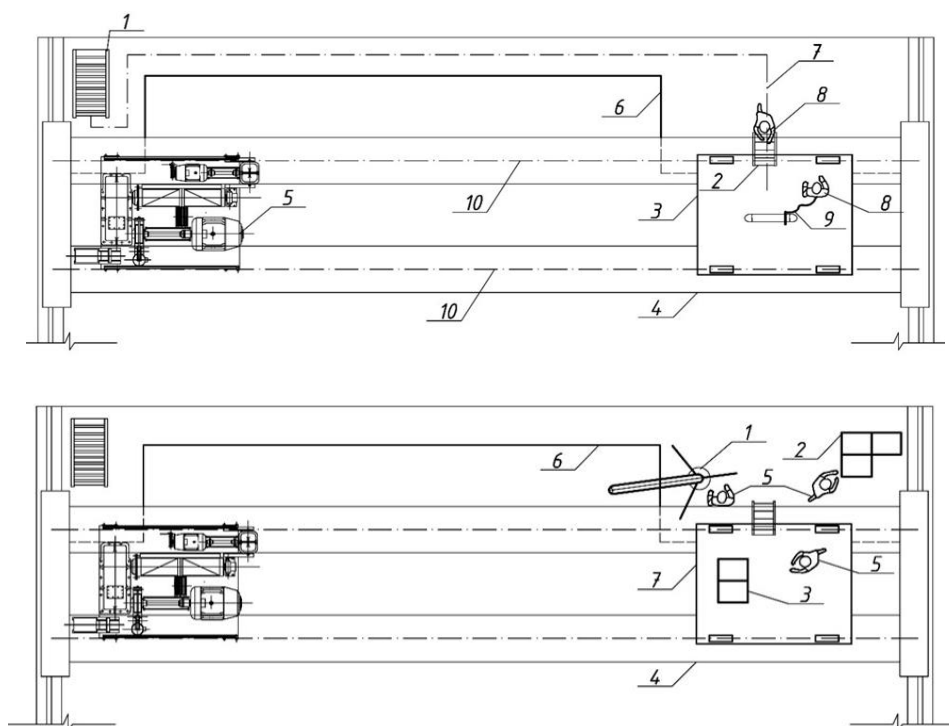


Рисунок 4.24 Існуюча обслуговуюча площадка мостового крану з встановленням тимчасового підйомного обладнання: 1 – мінікран для підйому вантажів; 2 – тимчасово складовані матеріали та інструменти; 3 – матеріали та інструменти завантажені на монтажну площадку; 4 – мостовий кран; 5 – робітники; 6 – обслуговуюча площадка мостового крану; 7 – монтажний майданчик.

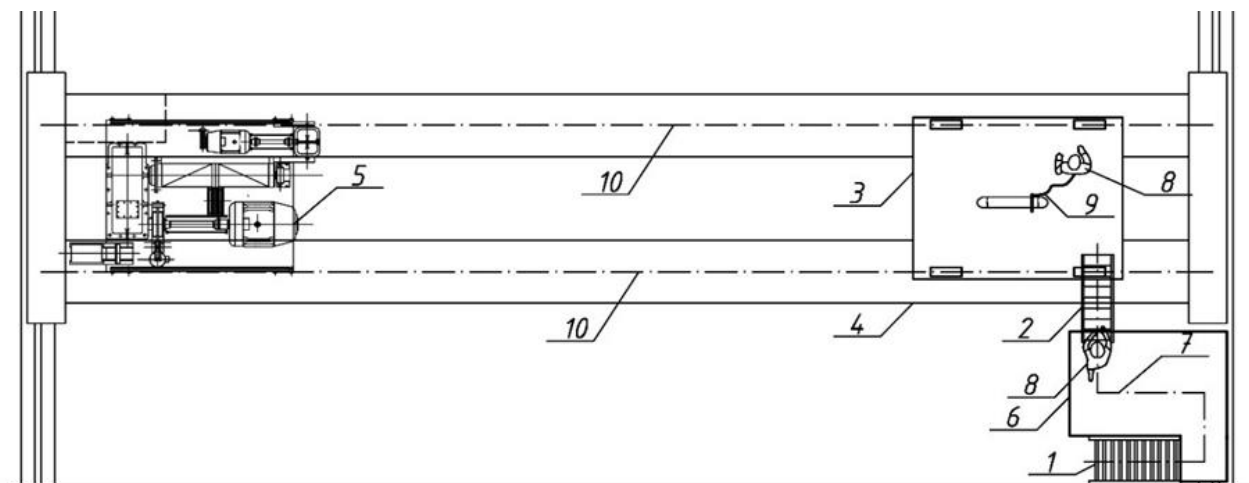


Рисунок 4.25 Тимчасово встановлена обслуговуюча платформа, яка монтується на підкранові конструкції: 1 – драбина для доступу до тимчасово влаштованої обслуговуючої площадки; 2 – пандус для доступу до монтажної платформи; 3 – монтажна платформа; 4 – мостовий кран; 5 – візок мостового крану; 6 – тимчасово влаштована обслуговуюча площадка; 7 – шлях переміщення людей; 8

– робітники; 9 – система зупинення падіння; 10 – осі руху монтажної платформи та візка мостового крану.

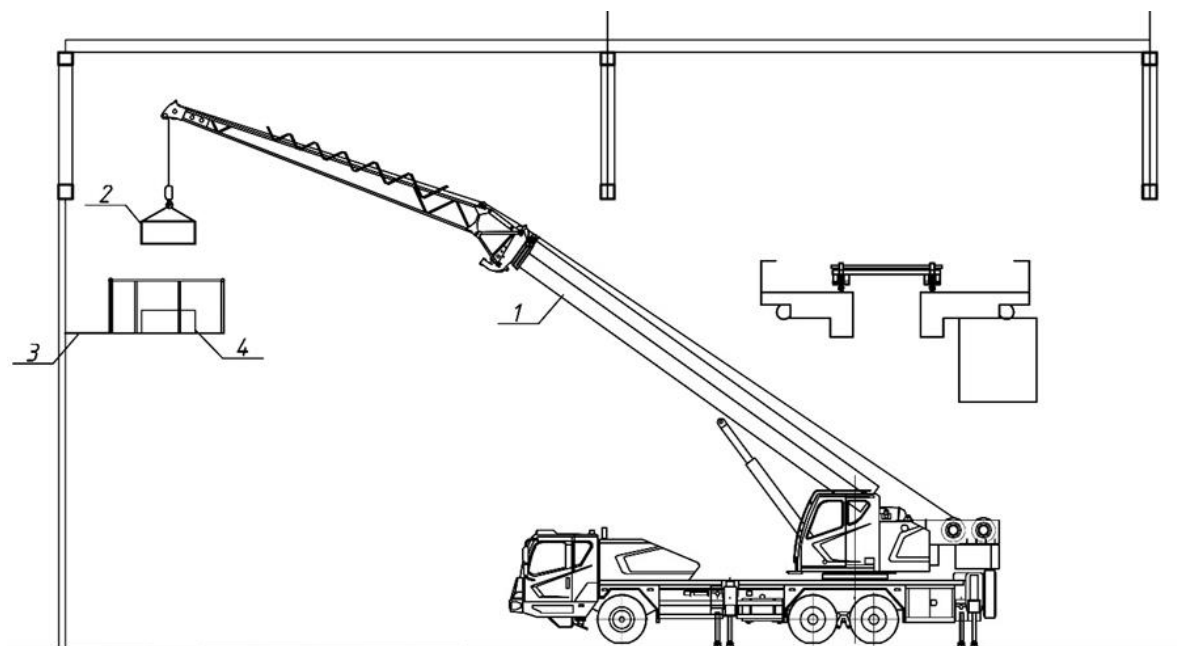


Рисунок 4.26 Принцип подачі матеріалів за допомогою автокрану на існуючу чи тимчасову обслуговуючий майданчик: 1 – автокран; 2 – вантаж, який підіймають; 3 – обслуговуюча площадка мостового крану; 4 – вантаж, піднятий на обслуговуючий майданчик.

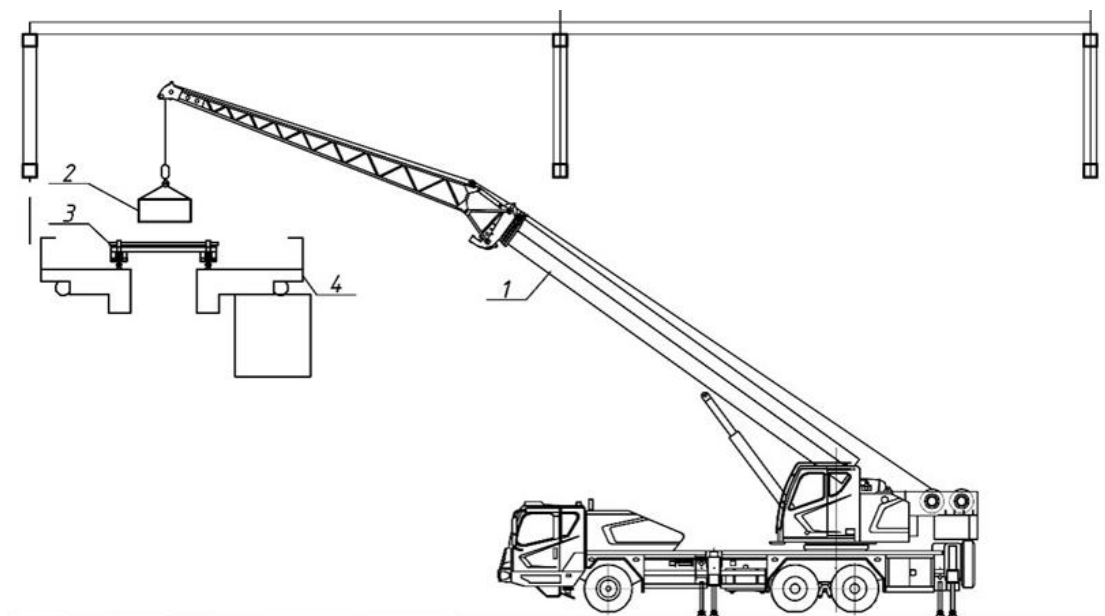


Рисунок 4.27 Принцип подачі матеріалів за допомогою автокрану безпосередньо на монтажний майданчик: 1 – автокран; 2 – вантаж, який підіймають; 3 – монтажний майданчик; 4 – мостовий кран.

4.4. Перспективи подальших досліджень

Перспективи подальших досліджень пов'язані з поглибленням теоретичних положень і розширенням практичного застосування запропонованого підходу до вибору організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель.

Одним із першочергових напрямів є подальша апробація розроблених положень на реальних об'єктах, що зазнали пошкодження унаслідок впливів, не передбачених при проектуванні. Особливу увагу доцільно приділити об'єктам із різним характером пошкодження несучих елементів: колон, ригелів, вузлів сполучення, плит покриття, а також випадкам часткової втрати просторової жорсткості каркаса. Це дозволить уточнити межі застосування запропонованої методики та адаптувати її до ширшого спектра аварійних ситуацій.

Подальшого розвитку потребує система критеріїв оцінювання варіантів тимчасового підпирання та стабілізації пошкоджених конструкцій. Доцільним є поглиблене дослідження впливу таких чинників, як терміновість виконання робіт, доступність матеріально-технічних ресурсів, складність монтажу у стиснених умовах, рівень небезпеки вторинного руйнування, можливість поетапного виконання робіт та сумісність тимчасових заходів із подальшим відновленням або демонтажем конструкцій.

Окремим перспективним напрямом є удосконалення експертно-аналітичного апарату прийняття рішень. Зокрема, доцільно виконати порівняльний аналіз результатів, отриманих із використанням методів АНР, FАНР, TOPSIS, VIKOR, EDAS та інших багатокритеріальних методів оцінювання. Важливим є також дослідження чутливості результатів ранжування до зміни вагових коефіцієнтів критеріїв, рівня невизначеності вихідних даних та ступеня узгодженості експертних оцінок.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію запропонованої методики з цифровими технологіями інформаційного моделювання будівель, інженерного моніторингу та неруйнівного контролю. Використання даних технічного обстеження, геодезичних вимірювань, результатів інструментального

контролю та моніторингу переміщень може забезпечити більш оперативне оновлення вихідної інформації для прийняття рішень у післяаварійний період.

Важливим напрямом подальшої роботи є формування узагальненої бази типових пошкоджень збірних залізобетонних промислових каркасів і відповідних організаційно-технологічних рішень щодо їх тимчасової стабілізації, підпирання, розвантаження або підготовки до відновлення. Така база може бути використана для розроблення прикладних алгоритмів, чек-листів і матриць вибору рішень для інженерів, проєктувальників, експертів з обстеження та організацій, що виконують аварійно-відновлювальні роботи.

З урахуванням сучасних умов експлуатації промислового фонду України перспективним є також дослідження організаційно-технологічних рішень в умовах дефіциту часу, обмеженого доступу до будівельної техніки, порушеної логістики, підвищеного рівня небезпеки та необхідності поєднання аварійних, відновлювальних і демонтажних робіт. Це дозволить підвищити практичну придатність запропонованих підходів для задач післяаварійного та післявоєнного відновлення будівель і споруд.

Отже, подальший розвиток дослідження доцільно спрямувати на практичну перевірку запропонованої методики, уточнення критеріїв вибору організаційно-технологічних рішень, розширення бази типових пошкоджень і впровадження цифрових інструментів підтримки прийняття рішень у складних післяаварійних умовах.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. У розділі було розроблено структуру модулів програмного забезпечення оптимізації вибору організаційно-технологічного рішення з відновлення конструкцій промислових будівель, пошкоджених внаслідок аварійних руйнувань. У процесі формування модулів «Інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення» (ІМСОП) було зазначено, що бази даних мають глобальний вплив на пришвидшення роботи системи, а саме можливість їх інтеграції до системи (експорт) та їх доповнення (імпорт).

Використання інструментарію ІМСОП дозволяє зменшити час на прийняття рішення та запобігти виникненню дрібних помилок за рахунок усунення людського фактору, однак на перших етапах використання програми необхідно виконувати валідацію отриманих з системи рішень для їх перевірки на достовірність, а в подальшому – перевірку фактів, що видаються з доповнених баз даних користувачами.

Запропонований інструментарій допомагає скомпілювати результати роботи експертів різних галузей будівництва (проектувальники, експерти з обстеження, технологи тощо) в один зведений інформаційний витяг для покращення сприйняття інформації замовником, що сприятиме більшій довірі замовника до згенерованих рішень через обов’язкову їхню попередню валідацію.

2. У розділі наведено приклад розрахунку пошкодженої конструкції для ідеального об’єкту згідно виділених одинадцяти етапів. У результаті проведеного розрахунку отримано залежність зусиль у тимчасових стійках для підпирання конструкції багатопролітної залізобетонної ферми під час піддамкрачування конструкції у проєктне положення, що дозволяє оцінити можливість виконання робіт за допомогою монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран, а також доповнити інформацію в системі ІМСОП для оцінки можливих рішень з відновлення пошкодженої конструкції.

3. У розділі представлено приклад організаційно-технологічного рішення для виконання робіт з відновлення багатопролітної конструкції металевої ферми довжиною 54 метри з використанням монтажного майданчика, встановленого на

мостовий кран. Обране організаційно-технологічне рішення дозволило отримати доступ до пошкоджених конструкцій на висоті більш ніж 25 метрів, провести піддомкращування та заміну пошкоджених елементів ферми швидше за рахунок скорочення часу, який затрачається при встановленні традиційних методів доступу до конструкцій (риштування).

4. На підставі матеріалів, отриманих у роботі автора, виконано розділи технічної карти, в яких описано основні принципи використання монтажного майданчика для мостового крану та узагальнені технічні параметри для виконання тимчасового підпирання конструкцій покриття за допомогою монтажного майданчика. Технічна карта розробляється та готується для друку у Державному підприємстві «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С.Балицького» (ДП «НДІБВ»).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі отримано результати розв'язання науково-прикладної задачі з удосконалення організаційно-технологічних рішень для скорочення термінів ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель.

Для досягнення мети дослідження, що полягала у підвищенні ефективності робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, які переривають виробничі процеси, за рахунок вибору найменш тривалих рішень методом інформаційно-математичного моделювання з використанням баз даних, що складаються з варіантів типових руйнувань та технічних, технологічних і організаційних рішень ліквідації їх наслідків було враховано досвід використання будівельної оснастки та монтажних засобів, що застосовуються для ліквідації аварійних руйнувань, виконано аналіз наукових досліджень та вітчизняних і міжнародних державних актів за темою дисертаційної роботи, сформовано та ранжовано критерії, що впливають на зменшення тривалості виконання робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, систематизовано основні наслідки аварійних ситуацій, що можуть виникати при експлуатації промислових будівель, розроблено сукупність організаційно-технологічних моделей з ліквідації наслідків аварійних руйнувань промислових будівель, розроблено концепцію та методику інформаційного моделювання протиаварійного підсилення, розроблено структуру модулів програмного забезпечення оптимізації вибору організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань. Поставлена мета дослідження виконана у повному обсязі.

За результатами виконання дисертаційної роботи отримані такі результати:

1. Систематизовано основні наслідки аварійних ситуацій у промислових будівлях з визначенням основних негативних наслідків для критично важливих підприємств, як функціонально-виробничі, а саме зупинка виробничого процесу. Однак відмічено, що на ліквідацію наслідків аварійних руйнувань, що спричинили зупинку критично важливого виробництва, впливають виділені окремо організаційно-технологічні фактори такі, як необхідність у тимчасовому

підпиранні конструкцій, потреба у демонтажі нестійких елементів, обмеження щодо розміщення машин і механізмів, ускладнений доступ до пошкоджених ділянок, необхідність у виконанні робіт в умовах діючого або частково діючого виробництва, дефіцит часу та ресурсів, роботи в умовах невизначеності та браку вихідних даних, необхідність підсилення або заміни конструкцій. Виділені наслідки сформували перелік основних вимог до удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних ситуацій на критично важливих підприємствах.

2. Сформовано перелік факторів та критеріїв для аналізу глобального впливу на процес ліквідації наслідків аварійних ситуацій. Запропоновано три основні фактори першого порядку: технічні, організаційні та технологічні. Вони у свою чергу поділені на три підфактори (фактори другого порядку): людські фактори, економічні фактори, фактори пов'язані з механізацією. Виділено 45 критеріїв, які розподілені між 9-ма факторами другого порядку (не менше ніж 3 критерії для кожного фактору). За допомогою методу експертного оцінювання виконано ранжування критеріїв та факторів за вагомістю впливу на зменшення термінів ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель, що дозволяє використовувати ранжовані критерії і фактори для порівняння альтернативних методів відновлення з використанням лінгвістичних термінів.

3. Сформовано ідеальну модель пошкодженої внаслідок аварійних руйнувань промислової будівлі. Найбільш ймовірними пошкодженнями за результатами аналізу масиву даних з обстеження пошкоджених конструкцій промислових будівель після дії впливів, не передбачених при проєктуванні (позапроєктних), було визначено пошкодження багатопролітних конструкцій покриття.

4. Удосконалено метод відновлення пошкоджених багатопролітних конструкцій за допомогою монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран. Використання обраного методу дозволяє зменшити вплив виділених організаційно-технологічних факторів наслідків аварійних ситуацій за рахунок можливості виконання робіт, не зважаючи на такі фактори як обмеження щодо розміщення машин і механізмів, ускладнений доступ до пошкоджених ділянок,

необхідність у виконанні робіт в умовах діючого або частково діючого виробництва, дефіцит часу та ресурсів, та сприяти зменшенню тривалості робіт для ліквідації факторів таких, як необхідність у тимчасовому підпиранні конструкцій, потреба у демонтажі нестійких елементів, за рахунок прямого доступу до пошкоджених конструкцій без необхідності розбирання завалів та демонтажу існуючого обладнання.

5. Розроблено структуру модулів програмного забезпечення для оптимізації вибору організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, що складається з 7-ми окремих модулів. Перші два модулі відповідають за введення вихідних даних про конструкції та технічний стан будівлі, наступні два модулі відповідають за аналіз отриманої інформації, обробку, підбір необхідного результату в базі даних та формування попередніх результатів. Виділено окремий модуль, що відповідає за визначення можливостей та формування на основі результатів аналізу методу тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій та окремий модуль, що дозволяє отримати інформацію та обрати метод відновлення конструкції. Останній модуль виконує функцію формування звіту, у якому приводиться вся можлива інформація з обраного методу тимчасового підпирання та відновлення пошкодженої конструкції з рекомендаціями та проєктними рішеннями, що видані зі сформованих баз даних попередніх звернень.

6. Розроблено чотири основні сценарії виконання робіт з відновлення з залученням різного типу будівельної оснастки та монтажних засобів. Розглянуто методи відновлення пошкоджених багатопролітних конструкцій з використанням риштувань, ножичного підйомника, монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран, та використання монтажного майданчика, встановленого на мостовий кран з залученням «Інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення». Для кожного сценарію проведено оцінку альтернати з використанням лінгвістичних термінів методом TOPSIS, за результатами якого визначено, що найшвидшим є метод виконання робіт з використанням монтажного майданчика та залученням ІМСОП, однак необхідно відмітити, що метод виконання робіт з використанням лише монтажного майданчика має дуже незначне відставання за

рейтингом, яке складає <1%. Це вказує на те, що залучення ІМСОП у методі відновлення має некритичний вплив на скорочення тривалості виконання робіт та зменшення термінів простою критично важливого підприємства. Така різниця може бути пов'язана з недостатнім інформуванням про можливості цієї системи серед експертів, що могло призвести до недооцінювання її ефективності щодо скорочення тривалості виконання відновлювальних робіт.

Для підтвердження отриманих результатів методом аналізу ієрархій (АНР) та лінгвістичної оцінки альтернатив (TOPSIS) було виконано експертну оцінку тривалості коротких процесів методом PERT для розроблених моделей відновлення. Для кожного процесу виділено дев'ять етапів, для яких було проведено оцінювання і побудовано діаграми Гранта. Порівняльний аналіз чотирьох сценаріїв протиаварійного підсилення показав, що традиційні риштування є найменш ефективними за часом і трудовитратами. Мобільний підйомник дозволяє істотно скоротити тривалість робіт завдяки швидкому доступу до зони пошкодження, однак зберігає необхідність часткового розбору завалів. Використання монтажного майданчика дає додаткові переваги за рахунок організації доступу зверху без потреби розбору завалів та зменшення висоти стійок для підпирання. Найкращі результати демонструє комбінація майданчика з інформаційно-математичною системою, яка оптимізує прийняття рішень і зменшує організаційні затримки. Вибір оптимального підходу залежить від технічних можливостей об'єкта та готовності до цифрових рішень.

7. Розроблено методику інформаційного моделювання підсилення, за допомогою якої можливо визначити залежність зусилля у тимчасових підпірках від місця їх встановлення та висоти піддомкращування пошкодженої конструкції багатопролітної залізобетонної аркової ферми прольотом 24 м.

8. Практичний досвід використання мостового крану як опорної конструкції для влаштування різних тимчасових конструктивних елементів для монтажних робіт (опорних стійок, монтажною платформи та інше) на різних етапах відновлення ферми дало змогу значно скоротити час та матеріальні ресурси у порівнянні з класичними схемами з влаштуванням риштувань або інших організаційних схем.

Також було виконано піддомкращування з використанням монтажного майданчика на мостовому крані, що дозволило вивести пошкоджені конструкції у проєктне положення. Варіант, який був застосований, дозволив виконати відновлення покрівлі, що була ушкоджена внаслідок позапроєктного впливу, мінімізуючи втручання у виробничий процес і час простою обладнання промислового підприємства.

СПИСКИ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Savoia M., Buratti N., Vincenzi L. Damage and collapses in industrial precast buildings after the 2012 Emilia earthquake. *Engineering Structures*. 2017. Vol. 137. P. 162-180. DOI: 10.1016/j.engstruct.2017.01.059
2. Liberatore L., Sorrentino L., Liberatore D., Decanini L. D. Failure of industrial structures induced by the Emilia (Italy) 2012 earthquakes. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 34. P. 629-647. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.02.009
3. Bournas D. A., Negro P., Taucer F. F. Performance of industrial buildings during the Emilia earthquakes in Northern Italy and recommendations for their strengthening. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014. Vol. 12. P. 2383-2404. DOI: 10.1007/s10518-013-9466-z
4. Toniolo G., Colombo A. Precast concrete structures: the lessons learned from the L'Aquila earthquake. *Structural Concrete*. 2012. Vol. 13, No. 2. P. 73-83. DOI: 10.1002/suco.201100052.
5. Özden Ş., Akpınar E., Erdoğan H., Meydanlı H. Performance of precast concrete structures in October 2011 Van earthquake, Turkey. *Magazine of Concrete Research*. 2014. Vol. 66, No. 11. P. 543–552. DOI: 10.1680/macr.13.00097
6. Arslan M. H., Dere Y., Ecemiş A. S., Doğan G., Öztürk M., Korkmaz S. Z. Code-based damage assessment of existing precast industrial buildings following the February 6th, 2023 Kahramanmaraş earthquakes (Pazarcık Mw 7.7 and Elbistan Mw 7.6). *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 86. Art. 108811. DOI: 10.1016/j.jobbe.2024.108811
7. Careda, Giacomo & Makoond, Nirvan & Buitrago, Manuel & Sagaseta, Juan & Chryssanthopoulos, Marios & Adam, Jose. (2023). Learning from the progressive collapse of buildings. *Developments in the Built Environment*. Vol. 15. 19 p. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100194>
8. U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. Investigations. Washington (DC): CSB, 2024. Режим доступу: <https://www.csb.gov/investigations> (дата звернення: 23.04.2025).

9. National Fire Protection Association. *Fires in Industrial and Manufacturing Properties: Supporting Tables* [Электронный ресурс]. Quincy (MA): NFPA Research, 2023. URL: <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/fires-in-us-industrial-or-manufacturing-properties> (дата звернення: 23.04.2025).
10. 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*. 2018. 173. P. 122-149. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.082> (дата звернення: 23.04.2025).
11. European Commission. A Renovation Wave for Europe – greening our buildings, creating jobs, improving lives: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM (2020) 662 final. Brussels, 2020. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0662> (дата звернення: 23.04.2025).
12. Royal Institution of Chartered Surveyors. Energy efficiency of building stock in the EU [Электронный ресурс]. 2020. URL: <https://www.rics.org/news-insights/energy-efficiency-of-the-building-stock-in-the-eu> (дата звернення: 23.04.2025).
13. Caffari F., Calabrese N., Murano G., Signoretti P. *La consistenza del parco immobiliare nazionale*. Roma: ENEA, 2024. 107 p. ISBN 978-88-8286-482-8. URL: <https://www.pubblicazioni.enea.it/le-pubblicazioni-enea/edizioni-enea/anno-2024/la-consistenza-del-parco-immobiliare-nazionale.html> (дата звернення: 23.04.2025).
14. Uhl J. H., Politis P., Pesaresi M. *GHS-AGE: Global gridded estimates of the dominant age of the built stock (1975-2020)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2025. JRC141711. ISBN 978-92-68-26030-2. DOI: 10.2760/6443992. URL: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC141711> (дата звернення: 23.04.2025).
15. Buildings Performance Institute Europe. *Europe's Buildings under the Microscope: A Country-by-Country Review of the Energy Performance of Buildings*.

Brussels: BPIE, 2011. 132 p. ISBN 978-94-91143-01-4. URL: https://www.bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf (дата звернення: 23.04.2025).

16. Eurostat. *European Statistics on Accidents at Work (ESAW): Accidents at work by sex, age, severity, NACE Rev. 2 activity and deviation (hsw_ph3_06)* [Електронний ресурс]. Luxembourg: Eurostat. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/hsw_ph3_06/default/table?lang=en (дата звернення: 23.04.2025).

17. Health and Safety Executive. *Structural stability during alteration, demolition and dismantling* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.hse.gov.uk/construction/safetytopics/buildings.htm> (дата звернення: 23.04.2025).

18. Palmisano F., Rus L. (eds.). *Case Studies on Failure Investigations in Structural and Geotechnical Engineering*. IABSE Bulletins – Case Studies. Vol. 4. Zürich: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2023. 250 p. ISBN 978-3-85748-194-9. URL: <https://iabse.org/Current-Case-Studies> (дата звернення: 23.04.2025).

19. Structural Condition Assessment of Existing Buildings Subcommittee. *Structural Condition Assessment of Existing Buildings: A Guideline*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2024. 350 p. (Manuals and Reports on Engineering Practice; No. 158). DOI: 10.1061/9780784485422.

20. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі Змінами № 1 та № 2. [Чинний від 2007-01-01]. Київ: Мінбуд України, 2006.

21. EN 1991-1-1:2025. *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-1: Specific weight of materials, self-weight of construction works and imposed loads for buildings*. Brussels: CEN, 2025.

22. EN 1991-1-3:2025. *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-3: Snow loads*. Brussels: CEN, 2025.

23. EN 1991-1-7:2025. *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-7: Accidental actions*. Brussels: CEN, 2025.
24. Collaborative Reporting for Safer Structures (CROSS). Premature collapse during demolition: CROSS Safety Report, Report ID 1424 [Електронний ресурс]. Опубліковано 12.11.2025. URL: <https://www.cross-safety.org/uk/safety-information/cross-safety-report/premature-collapse-during-demolition-1424> (дата звернення: 23.04.2025).
25. Szymczak-Graczyk A., Laks I., Ksit B., Ratajczak M. Analysis of the Impact of Omitted Accidental Actions and the Method of Land Use on the Number of Construction Disasters (a Case Study of Poland). *Sustainability*. 2021. Vol. 13, No. 2. Art. 618. DOI: 10.3390/su13020618.
26. Sadek S., Dabaghi M., Elhajj I., Zimmaro P., Hashash Y. M. A., Yun S.-H., O'Donnell T. M., Stewart J. P. *Engineering Impacts of the August 4, 2020 Port of Beirut, Lebanon Explosion*. Report GEER-070. Geotechnical Extreme Events Reconnaissance Association, 2021. 83 p. DOI: 10.18118/G6C96C.
27. Human Rights Watch. *“They Killed Us from the Inside”: An Investigation into the August 4 Beirut Blast* [Електронний ресурс]. 2021. 127 p. URL: <https://www.hrw.org/report/2021/08/03/they-killed-us-inside/investigation-august-4-beirut-blast> (дата звернення: 29.04.2025).
28. Forensic Architecture, Febrayer Network. *The Beirut Port Explosion: Destruction of Destruction* [Електронний ресурс]. 17.02.2023. URL: <https://forensic-architecture.org/investigation/the-beirut-port-explosion-destruction-of-destruction> (дата звернення: 29.04.2025).
29. Occupational Safety and Health Administration. *DeBruce Grain Elevator Explosion – Report* [Електронний ресурс]. Washington, DC: U.S. Department of Labor. URL: <https://www.osha.gov/grain-handling/geeit> (дата звернення: 29.04.2025).
30. Kazarian K. Take a Look Back at the 1998 DeBruce Grain Elevator Explosion [Електронний ресурс]. *Powder & Bulk Solids*. 27.02.2024. URL: <https://www.powderbulksolids.com/industrial-fires-explosions/take-a-look-back-at-the-1998-debruce-grain-elevator-explosion> (дата звернення: 29.04.2025).

31. Nikolaieva I., Zwijnenburg W., Parandii C. *Risks and Impacts from Attacks on Fossil Fuel Facilities in Ukraine*. Environment and Conflict Alert Ukraine [Електронний ресурс]. Utrecht: PAX, 2023. URL: https://paxvoorvrede.nl/wp-content/uploads/2023/07/PAX_Ukraine_fuel_MED-RES.pdf (дата звернення: 29.04.2025).
32. National Transportation Safety Board. *Contact of Containership Dali with Francis Scott Key Bridge and Subsequent Bridge Collapse: Marine Investigation Report MIR-25-40*. Washington, DC: NTSB, 2025. 259 p. URL: <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/MIR2540.pdf> (дата звернення: 18.11.2025).
33. O'Rourke M., Wikoff J. *Snow-Related Roof Collapse during the Winter of 2010–2011: Implications for Building Codes*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2014. DOI: 10.1061/9780784478240.
34. Collaborative Reporting for Safer Structures (CROSS). Partial collapse of a shopping mall roof under drifting snow: CROSS Safety Report, Report ID 1009 [Електронний ресурс]. 02.05.2023. URL: <https://www.cross-safety.org/us/safety-information/cross-safety-report/partial-collapse-shopping-mall-roof-under-drifting-1009> (дата звернення: 29.04.2025).
35. Occupational Safety and Health Administration. *Accident Report Detail: Six employees are killed during tornado. Accident Summary No. 141824.015* [Електронний ресурс]. Washington, DC: U.S. Department of Labor. URL: https://www.osha.gov/ords/imis/accidentsearch.accident_detail?id=141824.015 (дата звернення: 29.04.2025).
36. Thibault M. “Especially concerning” potential code violations found at site of Amazon warehouse destroyed by tornado [Електронний ресурс]. *Construction Dive*. URL: <https://www.constructiondive.com/news/especially-concerning-potential-code-violations-found-at-site-of-amazon-w/622101/> (дата звернення: 01.05.2025).
37. Yarlagadda T., Hajiloo H., Jiang L., Green M., Usmani A. Preliminary Modelling of Plasco Tower Collapse. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2018. Vol. 7, No. 4. P. 397–408. DOI: 10.21022/IJHRB.2018.7.4.397.

38. Epackachi S., Mirghaderi S. R., Aghelizadeh P. Failure Analysis of the 16-Story Plasco Building under Fire Condition. *Scientia Iranica*. 2022. Vol. 29, No. 3A. P. 1107–1124. DOI: 10.24200/sci.2022.57903.5495.
39. EN 12812:2008. *Falsework – Performance requirements and general design*. Brussels: CEN, 2008.
40. National Access & Scaffolding Confederation. *TG20:21 Operational Guide: Good Practice Guidance for Tube and Fitting Scaffolding*. London: NASC, 2021. 220 p. URL: <https://nasc.org.uk/product/tg20-21-operational-guide-hard-copy.html> (дата звернення: 01.05.2025).
41. EN 12810-1:2003. *Façade scaffolds made of prefabricated components – Part 1: Products specifications*. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2003.
42. EN 12811-1:2003. *Temporary works equipment – Part 1: Scaffolds – Performance requirements and general design*. Brussels: European Committee for Standardization (CEN), 2003.
43. Wilhelm Layher GmbH & Co. KG. *Layher Allround Scaffolding: Technical Brochure*. Edition 12.2019. Ref. No. 8116.207. Güglingen-Eibensbach: Layher, 2019. URL: <https://www.layher.co.nz/brochures-catalogues-downloads/> (дата звернення: 01.05.2025).
44. PERI Group. *PERI UP Flex Modular Scaffolding* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.peri.com/en> (дата звернення: 01.05.2025).
45. Mon.Zon Sverige AB. *MODULAR Scaffolding System: Assembly Instruction* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.monzon.se/en/info/downloads/>
46. EN 1065:1998. *Adjustable telescopic steel props – Product specifications, design and assessment by calculation and tests*. Brussels: CEN, 1998.
47. EN 16031:2012. *Adjustable telescopic aluminium props – Product specifications, design and assessment by calculation and tests*. Brussels: CEN, 2012.
48. PERI GmbH. *MULTIPROP MP 120, 250, 350, 480, 625. Slab Props: Instructions for Assembly and Use – Standard Configuration*. Edition 05/2015. Weißenhorn: PERI GmbH, 2015. 30 p. URL: <https://www.peri.lv/dam/jcr:cfb03ee3-dac6->

[432f-83a7-ea62d0f852b2/multiprop-mp-120-250-350-480-625-montāžas-instrukcija-en.pdf](https://www.peri.no/dam/jcr:cbf176b9-b0b8-4121-9cc8-12263b9d24d7/hd-200-heavy-duty-prop-instructions-for-assembly-and-use.pdf) (дата звернення: 01.05.2025).

49. PERI GmbH. *HD 200 Heavy-Duty Prop Shoring: Instructions for Assembly and Use – Standard Configuration*. Weißenhorn: PERI GmbH. URL: <https://www.peri.no/dam/jcr:cbf176b9-b0b8-4121-9cc8-12263b9d24d7/hd-200-heavy-duty-prop-instructions-for-assembly-and-use.pdf> (дата звернення: 01.05.2025)

50. Salvadori A. Ultimate strength of adjustable telescopic steel props according to standard EN 1065. *Journal of Constructional Steel Research*. 2009. Vol. 65, No. 10–11. P. 1964–1970. DOI: 10.1016/j.jcsr.2009.06.006.

51. EN 74-1:2022+A1:2025. *Couplers, spigot pins and baseplates for use in falsework and scaffolds – Part 1: Couplers for tubes – Requirements and test procedures*. Brussels: CEN, 2022–2025.

52. EN 74-2:2022. *Couplers, spigot pins and baseplates for use in falsework and scaffolds – Part 2: Special couplers – Requirements and test procedures*. Brussels: CEN, 2022.

53. PERI. *PS 100 Shoring System Overview* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.scribd.com/document/681710839/ps100-brochure> (дата звернення: 01.05.2025).

54. Doka GmbH. *Load-bearing tower Staxo 100: User Information*. Edition 07/2025. Amstetten: Doka GmbH, 2025. URL: <https://www.doka.com/ua/system-groups/doka-load-bearing-systems/shoring-towers/load-bearing-tower-staxo-100/index> (дата звернення: 01.05.2025).

55. Kaewsawang S., Chotickai P. Effect of bolt-tightening torques of couplers on load capacities of tube–coupler scaffolds. *Journal of Constructional Steel Research*. 2024. Vol. 214. Art. 108496. DOI: 10.1016/j.jcsr.2024.108496

56. EN 280-1:2022. *Mobile elevating work platforms – Part 1: Design calculations – Stability criteria – Construction – Safety – Examinations and tests*. Brussels: CEN, 2022.

57. ANSI/SAIA A92.22-2021. *Safe Use of Mobile Elevating Work Platforms (MEWPs)*. Scaffold & Access Industry Association, 2021.

58. Palazzani Industrie S.p.A. *TSJ 35.1 Spider Lift* [Електронний ресурс]. URL: <https://www.palazzaniindustrie.com/spider-aerial-platforms-manufacturers/ragno-tsj-35-bi-energy/> (дата звернення: 01.05.2025).
59. Genie Industries. *S-85 XC Telescopic Boom Lift: Product Specifications*. 2023. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.genielift.com/en/support/manuals> (дата звернення: 01.05.2025).
60. ISO 18878:2025. *Mobile elevating work platforms – Operator training*. 3rd ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2025. 14 p.
61. EN 14502-1:2010. *Cranes – Equipment for the lifting of persons – Part 1: Suspended baskets*. Brussels: CEN, 2010.
62. EN 1495:1997+A2:2009. *Lifting platforms – Mast climbing work platforms*. Brussels: CEN, 2009.
63. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung. *DGUV Regel 101-005: Hochziehbare Personenaufnahmemittel*. Berlin: DGUV, 2015. 48 S. URL: <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/948> (дата звернення: 01.05.2025)
64. Taiyuan Heavy Industry Co., Ltd. 一种便于高空维修使用的作业平台 [Робоча платформа для виконання ремонтних робіт на висоті]: пат. CN221116918U, Китай. Опубл. 11.06.2024.
65. Форстор Індастрі. Підйомні платформи ножичного типу. URL: <https://forstor.prom.ua/ua/p41396366-podemnye-platformy.html> (дата звернення: 14.06.2025).
66. Bemo Rail BV. *ZPMC Maintenance Platform STS* [Електронний ресурс]. Warmenhuizen: Bemo Rail BV. URL: <https://bemorail.com/railtechnology/zpmc-maintenance-platform-sts/> (дата звернення: 14.06.2025).
67. World Crane Services FZE. *Rail Maintenance Platform* [Електронний ресурс]. Dubai: World Crane Services FZE. URL: <https://www.worldcraneservices.com/manufactured-product/rail-maintenance-platform/> (дата звернення: 14.06.2025)

68. Konecranes. *Nuclear Equipment and Services* [Електронний ресурс].
Hyvinkää: Konecranes, 2016. 60 p. URL:
https://www.konecranes.com/sites/default/files/2018-09/Konecranes_nuclear_e_book_2016.pdf (дата звернення: 14.06.2025)
69. Менейлюк, О. І., Менейлюк, І. О., & Русский, В. В. (2024). Дослідження стану будівель та споруд пошкоджених внаслідок воєнних дій. *Будівельне виробництво*, (75), С. 17-26. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.75.17-26>
70. Менейлюк, О., & Русский, В. (2023). Аналіз відомих методик пошуку оптимальних рішень відновлення пошкоджених будівель. *Технічні науки та технології*, (2 (32)), С. 355-362. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2\(32\)-355-362](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-2(32)-355-362)
71. Шумаков, І., Бугаєвський, В., Савченко, О., Атинян, А., & Фурсов, Ю. (2025). Оптимізація конструктивних та організаційно-технологічних параметрів відновлення конструкцій мостових споруд. *Будівельне виробництво*, (79), С. 14-21. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.14-21>
72. Шумаков, І. В., Горда, О. В., & Григоровський, А. П. (2024). Розробка методики та дослідження впливу технічних, організаційних та технологічних факторів на тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань. *Будівельне виробництво*, (76), С. 79-84. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.79-84>
73. Шумаков, І., & Бугаєвський, В. (2024). Оптимізація параметрів ремонтно-будівельних робіт при відновленні залізобетонного шляхопроводу. *Будівельне виробництво*, (77), С. 3-10. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.3-10>
74. Шумаков І. В., Бутнік С. В., Бугаєвський С. О., Бугаєвський В. О. Особливості конструктивних та організаційно-технологічних рішень при відновленні залізобетонних мостових споруд. *Building Production*. 2023. № 74. С. С. 11-16. DOI: 10.36750/2524-2555.74.11-16.
75. Шумаков І.В., Гринчук О.А., Чумакова А.Д., Бугаєвський В.О. Оптимізація параметрів конструктивних та організаційно-технологічних рішень зведення будівель і споруд у складних умовах: монографія. Дніпро: Журфонд, 2024. 168 с. ISBN 978-617-619-523-3.

76. Броневицький А. П., Мурсьова О. В. Дослідження способів підсилення залізобетонних колон під час реконструкції промислових будівель. *Будівельне виробництво*. 2024. № 76. С. 27-31. DOI: 10.36750/2524-2555.76.27-31.
77. Журавський О. Д., Журавський Д. О., Поважнюк О. Особливості відновлення збірних залізобетонних ребристих плит покриттів промислових будівель, зруйнованих обстрілами. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*. 2024. Вип. 15. С. 185-195. DOI: 10.32347/2522-4182.15.2024.185-195.
78. Осипов, О. Ф., & Осипов, С. О. (2023). Основи формалізації факторів, що впливають на технологію відновлення будівельних конструкцій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 2(50), С. 12-20. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50\(2\).12-20](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2022.50(2).12-20)
79. Лаврухіна, К., Титок, В., & Кравчук, О. (2024). Інноваційні підходи та рішення вітчизняних будівельних підприємств для відновлення повоєнної України. *Будівельне виробництво*, (77), С. 85-91. <https://doi.org/10.36750/2524-2555.77.85-91>
80. Осипов, О., & Бондаренко, М. (2025). Упорядкування факторів, що впливають на вибір раціональних організаційно-технологічних рішень застосування віконних систем з полівінілхлориду при реставрації пам'яток архітектури. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 1(56), С. 81-86. [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).81-86](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).81-86)
81. Осипов, О., & Ігнатенко, О. (2024). Інноваційні технології зведення великопрогонових покриттів з використанням підйомних модулів. *Science and Innovation*, 20(5), С. 83–94. <https://doi.org/10.15407/scine20.05.083>
82. Тугай О. А., Поколенко В. О., Єсипенко А. Д., Дубинка О. В. Загальний план і фази впровадження BIM-концепції у будівельній галузі. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2021. Вип. 47(1). С. 3-14. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501X.2021.47\(1\)](https://doi.org/10.32347/2707-501X.2021.47(1)) (дата звернення: 09.07.2025).
83. Hryhorovskiy P., Osadcha I., Basanskyi V., Hryhorovskiy A., Jurelionis A. Rapid Assessment and Stabilization Strategy for Large-Panel Buildings Damaged by Blast Loads Using BIM-Based Information–Mathematical Modelling. *Buildings*. 2022.

Vol. 12, No 11. Article 1817. 17 p. DOI: 10.3390/buildings12111817. Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/buildings12111817> (дата звернення: 10.07.2025).

84. Черненко К. В. Сучасні методи розбирання (демонтажу) крупнопанельних будівель в щільній міській забудові. *Науковий вісник будівництва*. 2020. Т. 102, № 4. С. 194-199. DOI: 10.29295/2311-7257-2020-102-4-194-199. Режим доступу: <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/article/download/272/269> (дата звернення: 09.07.2025).

85. Кравчуновська Т. С. Комплексна реконструкція житлової забудови: організаційно-технологічні аспекти: монографія. Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2010. 230 с.

86. Осипов О. Ф., Лека Д. Р. Проблеми реконструкції житлових будинків перших масових серій. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. Вип. 39(2). С. 139-145. Режим доступу: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=shpebfrv_2019_39\(2\)_24](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=shpebfrv_2019_39(2)_24) (дата звернення: 09.07.2025).

87. Осипов О. Ф., Сигида В. О. Технологія знесення будівель і споруд промислових підприємств. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. Т. 1, Вип. 39(1). С. 159-165. Режим доступу: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=shpebfrv_2019_39%281%29_29 (дата звернення: 09.07.2025).

88. Шумаков І.В., Гринчук О.А., Чумакова А.Д., Бугаєвський В.О. Оптимізація параметрів конструктивних та організаційно-технологічних рішень зведення будівель і споруд у складних умовах: монографія. Дніпро: Журфонд, 2024. 168 с. ISBN 978-617-619-523-3

89. Шумаков І. В., Горда О. В., Григоровський А. П. Розробка методики та дослідження впливу технічних, організаційних та технологічних факторів на тривалість процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань. Будівельне виробництво. 2023. Вип. 76. С. 79–84. DOI: 10.36750/2524-2555.76.79-84.

90. Шумаков І. В., Бутнік С. В., Бугаєвський С. О., Бугаєвський В. О. Особливості конструктивних та організаційно-технологічних рішень при відновленні залізобетонних мостових споруд. Будівельне виробництво. 2022. Вип. 74. С. 11–16. DOI: 10.36750/2524-2555.74.11-16.

91. Арутюнян І. А., Васецький В. В., Журавель М. В., Шевчук Л. І. Інноваційні інструменти для удосконалення організації будівельних процесів в умовах російської агресії. Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика. – 2025. № 27. С. 12-18. Режим доступу: <https://bttpr.ust.edu.ua/article/view/331433> (дата звернення: 10.07.2025).

92. Ковальов В. В., Броневицький А. П., Заяць Є. І., Кравчуновська Т. С., Косолапов А. Ф. Особливості промислових будівель та робіт із їх реконструкції зі зміною функціонального призначення. Український журнал будівництва та архітектури. 2023. № 4 (016). С. 101-110. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.290823.101.976.

93. Кравчуновська Т. С., Балакін К. В. Обґрунтування оптимальної послідовності реконструкції промислових будівель у проєктах ревіталізації з урахуванням їх майбутньої функції. *Наука та прогрес транспорту*. 2025. № 4 (112). С. 181-188. DOI: 10.15802/stp2025/346790

94. Пастухова, С., & Арутюнян, І. (2025). Динамічне моделювання потокового управління як інструмент удосконалення організаційно-технологічних рішень та сталого розвитку в цивільному будівництві. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 3(56), 3-12. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(3\).3-12](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).3-12)

95. Арутюнян, І. А., & Пастухова, С. В. (2025). Удосконалення організаційно-технологічних рішень при будівництві та монтажі енергозберігаючих цивільних будівель на основі математичного моделювання.

Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика, (28), 5-11.
<https://doi.org/10.15802/bttrp2025/344890>

96. Тугай, О., Поколенко, В., Єсипенко, А., & Скакун, В. (2025). Забезпечення якості девелоперських проєктів у процесах проєктування, будівництва та інжинірингу: сталий розвиток, стандарти та інноваційні підходи. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*, 3(56), 236–251.
[https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(3\).236-251](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(3).236-251)

97. Поколенко, В., Герасимчук, Я., Різун, Д., Тищенко, М., & Щербак, І. (2025). Теоретичні засади впровадження BIM-технологій в управлінні будівельними проєктами. *Будівельне виробництво*, (80), 62–70.
<https://doi.org/10.36750/2524-2555.80.62-70>

98. Григоровський П. Є., Червяков Ю. М., Басанський В. О., Крошка Ю. В., Мурасьова О. В., Чуканова Н. П. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань при створенні та утриманні будівельних об'єктів. *Будівельне виробництво*. 2019. № 67. С. 7–16.

99. Григоровський П. Є. Будівельно-інформаційні моделі та методи формування організаційно-технологічних рішень інструментальних вимірювань в будівництві: монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2019. 340 с.

100. Шебек М. О., Дубинка О. В., Петренко Д. В., Орищенко В. В., Тугай А. О. Оптимізація строків і вартості інвестиційно-будівельних проєктів шляхом деталізації складових життєвого циклу об'єктів з використанням інформаційного моделювання. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2019. Вип. 41. С. 54–62. DOI: 10.32347/2707-501x.2019.41.54-62.

101. Osadcha I., Jurelionis A., Fokaides P. Geometric parameter updating in digital twin of built assets: A systematic literature review. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 73. Art. 106704. P. 1–27. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.106704

102. Osadcha I., Jurelionis A., Fokaides P. Review of the Framework for Updating the Geometry of a Digital Twin. 2023 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS). 2023. DOI: 10.1109/E-TEMS57541.2023.10424442

103. Osadcha I., Jurelionis A., Fokaides P. Requirements for Geometrical Data in Digital Twin for Building Energy Modelling and Interoperability. 2024 9th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech). 2024. DOI: 10.23919/SpliTech61897.2024.10612457

104. Osadcha I., Jurelionis A., Fokaides P. Patterns and trends in the use of RFID within the construction industry and Digital Twin architecture: a Latent Semantic Analysis. *International Journal of Sustainable Energy*. 2024. Vol. 43, No. 1. P. 1–29. Art. 2421281. DOI: 10.1080/14786451.2024.2421281.

105. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17> (дата звернення: 06.02.2026).

106. Про затвердження Порядку проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об'єктів будівництва: Постанова Кабінету Міністрів України від 12.04.2017 № 257. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/257-2017-%D0%BF> (дата звернення: 06.02.2026).

107. Про затвердження Порядку виконання невідкладних робіт щодо ліквідації наслідків збройної агресії Російської Федерації, пов'язаних із пошкодженням будівель та споруд: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.04.2022 № 473. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/473-2022-%D0%BF> (дата звернення: 06.02.2026).

108. Методика проведення обстеження та оформлення його результатів: затв. наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 06.08.2022 № 144; зареєстр. у Міністерстві юстиції України 09.08.2022 за № 898/38234. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0898-22> (дата звернення: 06.02.2026).

109. ДСТУ 9273:2024. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-09-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024.

110. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Київ: Мінрегіон України, 2016. 120 с.

111. ДСТУ 9288:2024. Організація і технологія ремонту, підсилення та відновлення будівельних об'єктів. Загальні вимоги. [Чинний від 2025-01-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2024.

112. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. [Чинний від 2022-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2022.

113. ДСТУ 9294:2024. Розрахунок будівель на стійкість до прогресуючого (непропорційного) обвалення. [Чинний від 2025-03-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2025. 45 с.

114. ISO 2394:2015. General principles on reliability for structures. 4th ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 111 p.

115. ISO 13822:2010. Bases for design of structures – Assessment of existing structures. 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2010.

116. EN 1998-3:2025. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and bridges. Brussels: European Committee for Standardization, 2025.

117. ASCE/SEI 41-23. Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2023. DOI: 10.1061/9780784416112.

118. Federal Emergency Management Agency. *FEMA P-2055. Post-disaster Building Safety Evaluation Guidance: Report on the Current State of Practice, including Recommendations Related to Structural and Nonstructural Safety and Habitability*. Washington, DC: FEMA, 2019. URL:

119. Applied Technology Council. *ATC-20-1. Field Manual: Postearthquake Safety Evaluation of Buildings*. 2nd ed. Redwood City, CA: Applied Technology Council, 2005. URL: <https://www.atcouncil.org/placards-and-evaluation-forms> (дата звернення: 14.06.2025)

120. Applied Technology Council. *ATC-45. Field Manual: Safety Evaluation of Buildings after Windstorms and Floods*. Redwood City, CA: Applied Technology Council, 2004. 132 p. URL: <https://atcouncil.org/atc-45> (дата звернення: 14.06.2025).

121. ASCE/SEI 59-22. *Blast Protection of Buildings*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2022. DOI: 10.1061/9780784415719.

122. ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва». Настанова з тимчасового укріплення аварійних об'єктів, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів: проєкт нормативного документа. Київ, 2025. 156 с.

123. Григоровський А. П. Удосконалення організаційно-технологічних рішень ліквідації наслідків аварійних руйнувань великопанельних будівель за результатами позапроектних впливів: дис. канд. техн. наук: 05.23.08. Харків, 2024. – 366 с.

124. ISO 16311-2:2024. Maintenance and repair of concrete structures – Part 2: Assessment of existing concrete structures. 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2024.

125. ASCE/SEI 59-11. *Blast Protection of Buildings*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, 2011. 128 p. DOI: 10.1061/9780784411889.

126. Yamane K., Iwamatsu J., Furuya K., Suzuki K. Risk Management in Construction: Case Study of Risk in Schedule Control Using Monte Carlo Simulation. *AIJ Journal of Technology and Design*. 2002. Vol. 8, No. 15. P. 319–322. DOI: 10.3130/aijt.8.319_1

127. Tokdemir O. B., Erol H., Dikmen I. Delay Risk Assessment of Repetitive Construction Projects Using Line-of-Balance Scheduling and Monte Carlo Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2019. Vol. 145, No. 2. Art. 04018132. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001595

128. Gurmu A. T., Ongkowijoyo C. S. Stochastic-Based Model for Setting Formwork-Productivity Baseline. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2020. Vol. 146, No. 9. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001898

129. Woo S. Simulation Analysis of Labor Performance during Overtime and Impact on Project Duration. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2016. Vol. 20, No. 7. P. 2614-2623. DOI: 10.1007/s12205-016-0956-9

130. Diaz C. F., Hadipriono F. C. Nondeterministic Networking Methods. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1993. Vol. 119, No. 1. P. 40–57. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1993)119:1(40)

131. Основи методології та організації наукових досліджень: навч. посіб. / за ред. А. Є. Конверського. Київ: Центр учбової літератури, 2010. 352 с. URL: https://duikt.edu.ua/uploads/l_1303_78888646.pdf

132. Мокін Б. І., Мокін В. Б., Мокін О. Б. Методологія та організація наукових досліджень: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2023. 230 с. URL: <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/view/805/1408/2677-1>

133. Єльнікова Л. О., Мазуренко О. О., Назаров О. А., Вернигора Р. В., Малашкін В. В. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. Дніпро: Український державний університет науки і технологій, 2024. 226 с.

134. Білецький В. С., Северин О. А. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посіб. Полтава: ПолтНТУ, 2014. 113 с.

135. Данильян О. Г., Дзьобань О. П. Організація та методологія наукових досліджень: навч. посіб. Харків: Право, 2017. 448 с. ISBN 978-966-937-214-7 URL: https://duikt.edu.ua/uploads/l_2032_60626625.pdf

136. ISO 704:2022. Terminology work – Principles and methods. 4th ed. Geneva : ISO, 2022

137. National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine. *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005. 332 p. DOI: 10.17226/11153.

138. Kendall M. G., Gibbons J. D. Rank Correlation Methods. 5th ed. London: Edward Arnold; New York: Oxford University Press, 1990. 260 p.

139. Snyder H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*. 2019. Vol. 104. P. 333–339. DOI: 10.1016/j.jbusres.2019.07.039.

140. Montgomery D. C. *Design and Analysis of Experiments*. 10th ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2019. 688 p.

141. Taylan O., Bafail A. O., Abdulaal R. M. S., Kabli M. R. Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies. *Applied Soft Computing*. 2014. Vol. 17. P. 105–116. DOI: 10.1016/j.asoc.2014.01.003
142. Fatemeh Torfi, Reza Zanjirani Farahani, Shabnam Rezapour. Fuzzy AHP to determine the relative weights of evaluation criteria and Fuzzy TOPSIS to rank the alternatives. *Applied Soft Computing*. Volume 10, Issue 2, 2010. Pages 520-528. ISSN 1568-4946. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2009.08.021>
143. Cheng E. W. L., Li H. Contractor selection using the analytic network process. *Construction Management and Economics*. 2004. Vol. 22, No. 10. P. 1021–1032. DOI: 10.1080/0144619042000202852
144. Vaidya O. S., Kumar S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*. 2006. Vol. 169, No. 1. P. 1-29. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028
145. Saaty T. L. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
146. Pretel-Wilson M. The Structure of Reality: An Emergent Hierarchy of Autonomous Levels? *Proceedings of the 61st Annual Meeting of the International Society for the Systems Sciences – 2017 Vienna, Austria*. 2017. Vol. 2017, No. 1. 21 p. URL: <https://journals.iss.org/index.php/proceedings61st/article/view/3122> (дата звернення: 20.06.2025)
147. Blikharsky Y., Kapiika N. Analysis of the most common damages in reinforced concrete structures: a review. *Theory and Building Practice*. 2022. Vol. 4, No. 1. P. 35-42. DOI: 10.23939/jtbp2022.01.035.
148. Liberatore L., Sorrentino L., Liberatore D., Decanini L.D. Failure of industrial structures induced by the Emilia (Italy) 2012 earthquakes. *Engineering Failure Analysis*. 2013. Vol. 34. P. 629-647. DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.02.009
149. Bournas D.A., Negro P., Taucer F.F. Performance of industrial buildings during the Emilia earthquakes in Northern Italy and recommendations for their strengthening. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2014. Vol. 12. P. 2383-2404. DOI: 10.1007/s10518-013-9466-z

150. Arslan M.H., Dere Y., Ecemiş A.S., Doğan G., Öztürk M., Korkmaz S.Z. Code-based damage assessment of existing precast industrial buildings following the February 6th, 2023, Kahramanmaraş earthquakes (Pazarcık Mw 7.7 and Elbistan Mw 7.6). *Journal of Building Engineering*. 2024. Vol. 86. Article 108811. DOI: 10.1016/j.jobe.2024.108811
151. Zareian F., Aguirre C., Beltrán J.F., Cruz E., Herrera R., Leon R., Millan A., Verdugo A. Reconnaissance Report of Chilean Industrial Facilities Affected by the 2010 Chile Offshore Bío-Bío Earthquake. *Earthquake Spectra*. 2012. Vol. 28. P. 513-532. DOI: 10.1193/1.4000049
152. Krausmann E., Cruz A.M., Affeltranger B. The impact of the 12 May 2008 Wenchuan earthquake on industrial facilities. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 2010. Vol. 23, No. 2. P. 242-248. DOI: 10.1016/j.jlp.2009.10.004
153. Sousa R., Silva V., Rodrigues H. The importance of indirect losses in the seismic risk assessment of industrial buildings – An application to precast RC buildings in Portugal. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2022. Vol. 74. Article 102949. DOI: 10.1016/j.ijdr.2022.102949
154. Kiakojouri F., De Biagi V., Chiaia B., Sheidaii M.R. Progressive collapse of framed building structures: Current knowledge and future prospects. *Engineering Structures*. 2020. Vol. 206. Article 110061. DOI: 10.1016/j.engstruct.2019.110061
155. Guo Z., She J., Li Z., Du J., Ye S. Integrating FRAM and BN for enhanced resilience evaluation in construction emergency response: a scaffold collapse case study. *Heliyon*. 2024. Vol. 10, No. 3. Art. e25342. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e25342.
156. Çelikkilek, Y., & Tüysüz, F. (2020). An in-depth review of theory of the TOPSIS method: An experimental analysis. *Journal of Management Analytics*, 7 (2), 281-300. <https://doi.org/10.1080/23270012.2020.1748528>
157. Kamacı, H., Marinkovic, D., Petchimuthu, S., Riaz, M., & Ashraf, S. (2022). Novel Distance-Measures-Based Extended TOPSIS Method under Linguistic Linear Diophantine Fuzzy Information. *Symmetry*, 14 (10), 2140. <https://doi.org/10.3390/sym14102140>

158. Fu, X.-L.; Ni, H.; Jiang, Z.-Y.; Jiang, N.-J.; Du, Y.-J. An integrated fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS approach for screening backfill materials for contaminant containment in slurry trench cutoff walls. *Journal of Cleaner Production*. 2023, 419, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138242>
159. Malcolm D. G., Roseboom J. H., Clark C. E., Fazar W. Application of a Technique for Research and Development Program Evaluation. *Operations Research*. 1959. Vol. 7, No. 5. P. 646-669. DOI: 10.1287/opre.7.5.646.
160. Cottrell W. D. Simplified Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Construction Engineering and Management*. 1999. Vol. 125, No. 1. P. 16-22. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:1(16).
161. Yamane K., Iwamatsu J., Furuya K., Suzuki K. Risk Management in Construction: Case Study of Risk in Schedule Control Using Monte Carlo Simulation. *AIJ Journal of Technology and Design*. 2002. Vol. 8, No. 15. P. 319-322. DOI: 10.3130/aijt.8.319_1.
162. Moselhi O., Roofigari-Esfahan N. Compression of Project Schedules Using the Analytical Hierarchy Process. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*. 2012. Vol. 19, No. 1-2. P. 67-78. DOI: 10.1002/mcda.490.
163. Darko A., Chan A. P. C., Ameyaw E. E., Owusu E. K., Pärn E., Edwards D. J. Review of Application of Analytic Hierarchy Process (AHP) in Construction. *International Journal of Construction Management*. 2019. Vol. 19, No. 5. P. 436-452. DOI: 10.1080/15623599.2018.1452098
164. EN 1991-1-7:2006. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-7: General actions – Accidental actions. Brussels: European Committee for Standardization, 2006.
165. Григоровський П.Є., Басанський В.О., Григоровський А.П., Божинський М.О. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень ліквідації наслідків понадпроектних впливів у будівництві. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2023. №100. С. 72-79. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.72>
166. Хохлін, Д. О., & Божинський, М. О. Організаційно-технологічні рішення для запобігання аварійних руйнувань, спричинених впливами, не

передбаченими при проектуванні, на прикладі залізобетонної ферми. *Будівельне виробництво*. Київ, 2023. №76. С. 43-48. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.43-48>

167. Божинський М.О. Реалізація модулів інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення з інтеграцією існуючих баз даних для прискорення прийняття організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №78, С. 132-139. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.132-139>

168. Божинський М.О. Оцінювання тривалості сценаріїв ліквідації аварійних руйнувань будівельних конструкцій методом PERT із застосуванням інформаційно-математичної системи оптимізації. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №79, С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.35-41>

169. Божинський М., Гаєва К. Оцінка альтернативних організаційно-технологічних рішень з тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій на основі багатокритеріальних методів прийняття рішень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. Київ, 2025. № 56. Том 1. С.142-149 DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).142-149](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).142-149)

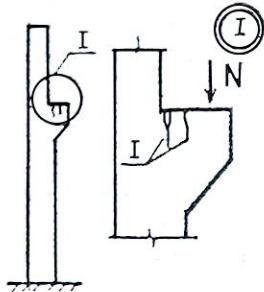
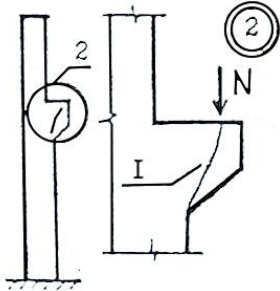
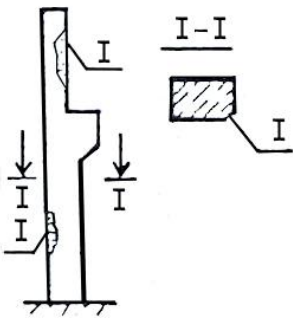
170. Bozhynskyi M., Zhelezniak V. Scientific foundations for the coordination of organizational-technological and information-management decisions in the system of implementation and recovery of construction projects. *The scientific heritage* (Budapest, Hungary). 2026. № 179 (179). Pp. 72-80. DOI: 10.5281/zenodo.18762606

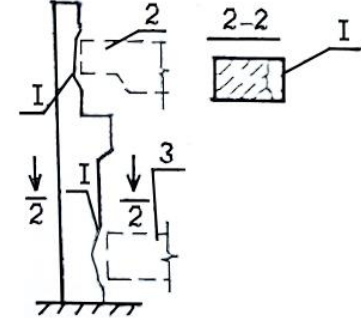
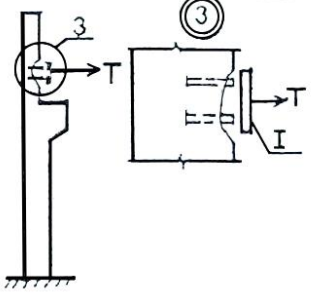
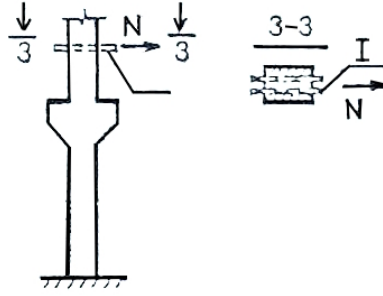
171. Тугай О.А., Козак А.А., Хохлін Д.О., Божинський М.О. Використання методу скінчених елементів для визначення можливості застосування та удосконалення організаційно-технологічних рішень з локалізації руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures*, 116, 67-79. DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.67-79

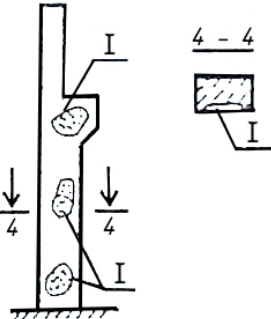
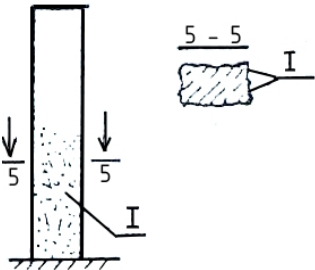
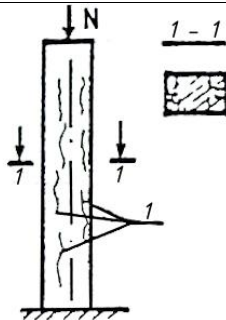
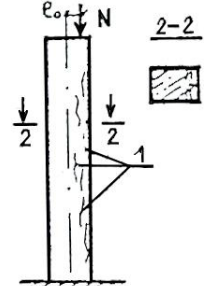
ДОДАТОК А

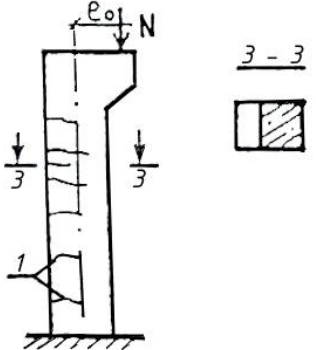
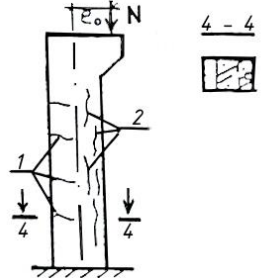
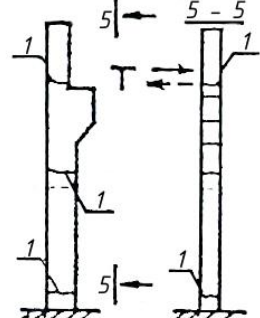
База даних дефектів та пошкоджень залізобетонних елементів

Табл. А1 Характерні дефекти та пошкодження залізобетонних колон

№	Вид пошкодження	Схема пошкодження	Опис	Причина пошкодження	Заходи з усунення дефекту і пошкодження
1	Нормальна тріщина в консолях		1 – нормальні тріщини	Від дії згинального моменту при перевантаженні, зниженні ексцентриситету навантаження. Зменшення діаметра арматури внаслідок корозії	Підсилення консолі за розрахунком
2	Нахилена тріщина в консолі		1 – нахилена тріщина	Від дії поперечної сили при перевантаженні. Зниження міцності бетону. Зменшення діаметра арматури (хомутів) внаслідок корозії	Підсилення консолі за розрахунком
3	Сколи бетону на ребрах		1 – сколи бетону	Механічні пошкодження при перевезенні та експлуатації. Корозія арматури. Вогневі впливи	Відновлення сколів. Захист від корозії. Підсилення за розрахунком

4	Стесування частини перерізу		1 – стесані ділянки колони; 2 – мостовий кран; 3 – підлоговий транспорт	Механічні пошкодження мостовим краном при деформації колони. Пошкодження підлоговим транспортом	Запобігання деформаціям колони. Відновлення зруйнованих ділянок. Підсилення за розрахунком
5	Обрив закладної деталі		1 – обірвана закладна деталь	Перевантаження та динамічні впливи при роботі мостових кранів	Відновлення закладних деталей
6	Обрив випусків арматури		1 – обірвані випуски арматури	Перевантаження нерозрізного ригеля. Зменшення діаметра випуску внаслідок корозії	Відновлення вузла кріплення ригеля з колоною

7	Відшарування лещадок бетону		1 – лещадки бетону, що відшарувались	Вогневий вплив при пожежі. Тиск новоутворень (солей, льоду)	Відновлення пошкоджених ділянок. Підсилення за розрахунком
8	Відлущення поверхні бетону		1 – відлущення поверхні бетону	Вплив агресивного середовища. Поперемінне заморожування відтавання бетону чи зволоження-висихання	Захист від агресивної дії середовища. Відновлення поверхні бетону
9	Поздовжня тріщина по всьому перерізу		1 – поздовжні тріщини	Перевантаження при центральному стиску, зниження міцності бетону	Підсилення колони за розрахунком
10	Поздовжні тріщини в стисненій зоні		1 – поздовжні тріщини	Перевантаження при малих ексцентриситетах, збільшення e_0 . Зменшення діаметра стиснутої арматури внаслідок корозії	Підсилення колони за розрахунком

11	Нормальні тріщини в розтягнутій зоні		1 – нормальні тріщини	Перевантаження при великих ексцентриситетах, збільшення e_0 . Зниження міцності бетону. Зменшення діаметра розтягнутої арматури внаслідок корозії	Підсилення колони за розрахунком
12	Нормальні тріщини в розтягнутій зоні. Поздовжні тріщини в стисненій зоні		1 – нормальні тріщини; 2 – поздовжні тріщини	Перевантаження при великих ексцентриситетах, збільшення e_0 . Зниження міцності бетону. Зменшення діаметра розтягнутої та стиснутої арматури внаслідок корозії	Підсилення колони за розрахунком
13	Нормальні тріщини		1 – нормальні тріщини	Велика гнучкість з площини. Дія поздовжнього гальмування. Неправильне складування та перевезення. Температурно-вологісні деформації бетону	Підсилення колони за розрахунком

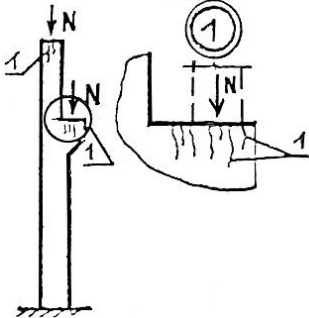
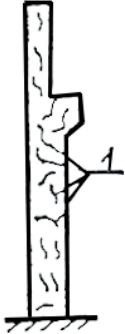
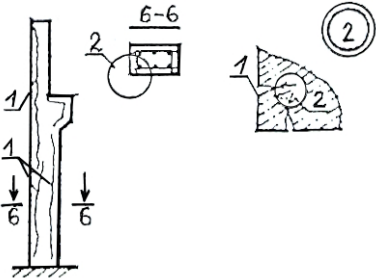
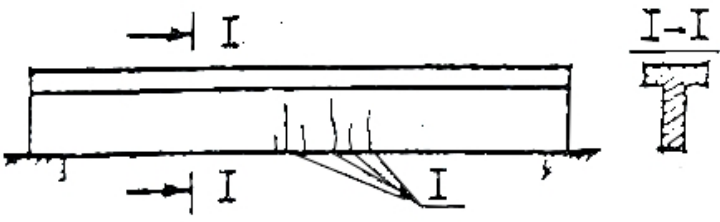
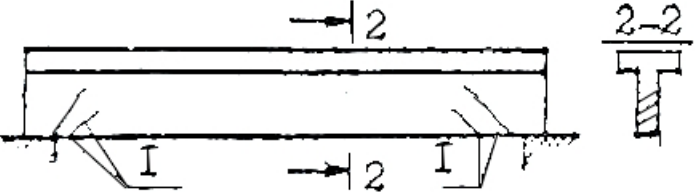
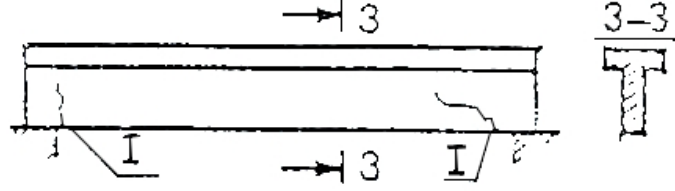
14	Короткі тріщини в місцях опирання балок		1 – короткі тріщини	Місцеве стиснення бетону при перевантаженні, зниження міцності бетону. Відсутність непрямого армування	Підсилення пошкоджених ділянок
15	Усадочні тріщини		1 – усадочні тріщини	Усадочні деформації бетону	Затирання чи шпаклювання поверхневих тріщин. Ін'єктування глибоких тріщин
16	Тріщини вздовж арматури, іржаві підтікання		1 – тріщини вздовж арматури; 2 – напрям тиску продуктів корозії арматури	Корозія арматури внаслідок порушення захисного шару бетону і вплив агресивного середовища	Відновлення захисного шару бетону. Захист арматури від корозії. Підсилення колони за розрахунком

Табл. А2 Характерні дефекти і пошкодження залізобетонних балок

№	Вид пошкодження	Схема пошкодження	Опис	Причина пошкодження	Заходи з усунення дефектів і пошкоджень
1	Нормальні тріщини в розтягнутій зоні		I – нормальні тріщини в розтягнутій зоні	Дія згинального моменту при перевантаженні, зниження міцності. Зменшення діаметра арматури внаслідок корозії	Підсилення по розрахунку нормальних перерізів. Захист від корозії. Закладення тріщин
2	Нахилені тріщини біля опор		I – нахилені тріщини	Дія поперечної сили та згинального моменту при перевантаженні, зменшення міцності бетон. Недостатня площа поперечної арматури	Підсилення по розрахунку нахилених перерізів, захист від корозії, закладення тріщин
3	Приопорні тріщини		I – приопорні тріщини	Порушення анкерівки робочої арматури. Проскользування арматури	Підсилення по розрахунку опорних зон балок

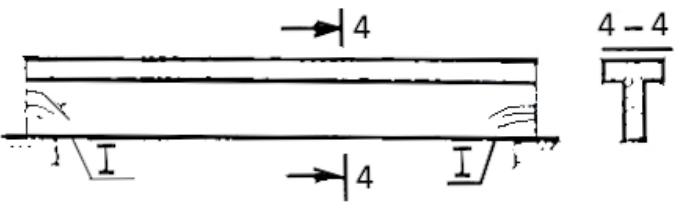
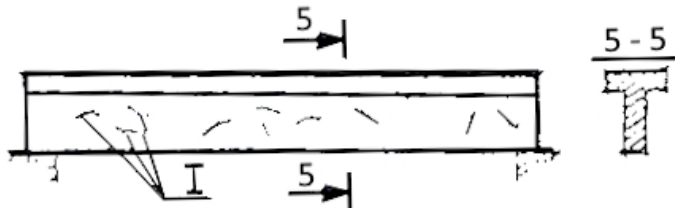
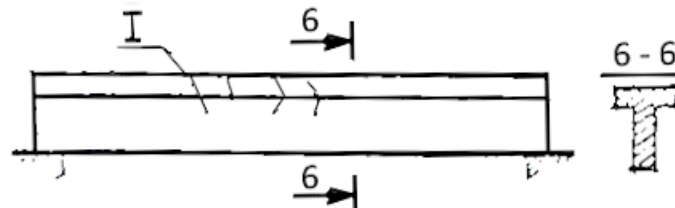
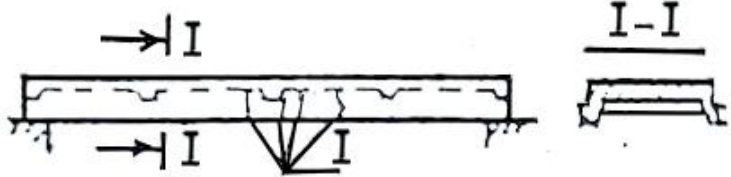
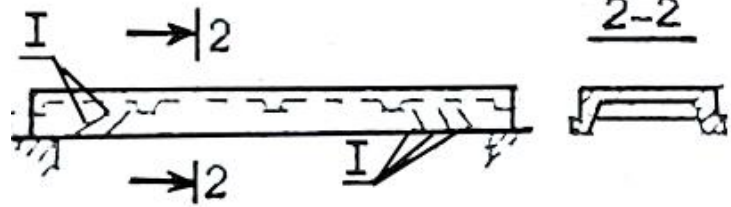
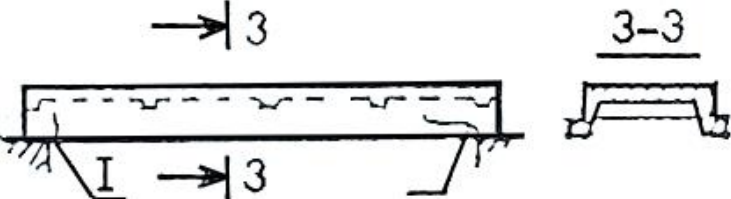
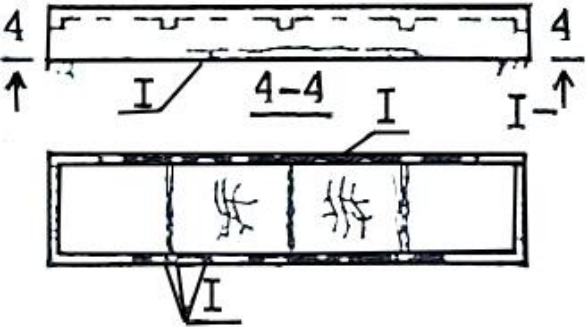
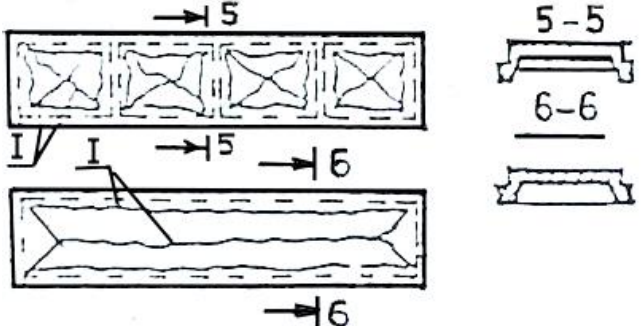
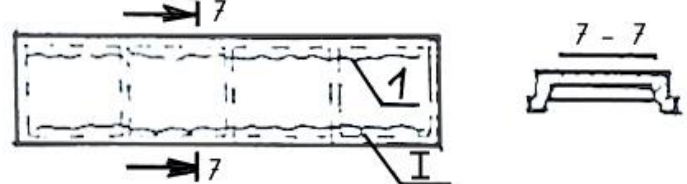
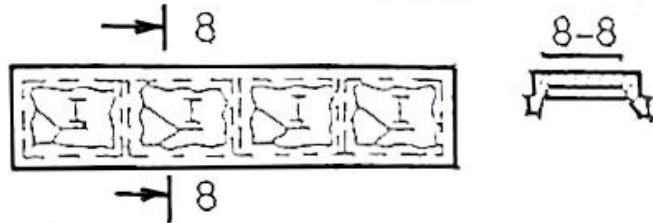
4	Подрібнення бетону опорних частин		I – тріщини в опорних частинах балки	Розтріскування опорних частин балок попередньо напруженої арматури	Підсилення по розрахунку опорних частин балок
5	Усадочні тріщини		I – усадочні тріщини	Температурно-вологісні та усадкові деформації бетону	Ін'єктування глибоких тріщин, затирання поверхових тріщин
6	Нормальні тріщини в стисненій зоні		I – нормальні тріщини в стисненій зоні	Великі зусилля обтискання попередньо напруженої арматури при виготовленні, перевезенні та складуванні	Підсилення по розрахунку

Табл. А3 Характерні дефекти і пошкодження залізобетонних плит

№	Вид пошкодження	Схема пошкодження	Опис	Причина пошкодження	Заходи з усунення дефектів і пошкоджень
1	Нормальні тріщини в розтягнутій зоні		I – нормальні тріщини в розтягнутій зоні	Дія згинального моменту при перевантаженні, зниження міцності бетону, зменшення діаметра у результаті корозії	Підсилення по розрахунку нормальних перерізів. Захист від корозії. Закладення тріщин.
2	Нахилені тріщини у зоні опор		I – нахилені тріщини біля опори	Дія поперечної сили або згинального моменту при перевантаженні, зниження міцності бетону, зменшення площі поперечної арматури	Підсилення по розрахунку нахилених перерізів. Захист від корозії. Закладення тріщин.
3	Приопорні тріщини		I – приопорні тріщини	Порушення анкерівки, проскользання арматури	Підсилення опорних ділянок плити

4	Тріщини вздовж арматури, іржаві патьоки		I – тріщини вздовж арматури	Корозія арматури у результаті порушення захисного шару бетону і вплив агресивних середовищ	Відновлення захисного шару бетону. Захист арматури від корозії. Підсилення плити по розрахунку
5	Тріщини в поличках плит		I – тріщини в поличці плити	Дія згинального моменту при перевантаженні, зниження міцності бетону, зменшення діаметра арматури у результаті корозії	Посилення плити по розрахунку. Заповнення тріщин
6	Тріщини по контуру поличок плит		I – тріщини по контуру полички плити	Недостатня анкерівка арматури полички у поздовжніх ребрах	Підсилення опорних ділянок плити
7	Усадкові тріщини		I – усадкові тріщини	Усадкові та температурно-вологісні деформації бетону	Шпаклювання поверхневих тріщин. Ін'єктування глибоких тріщин

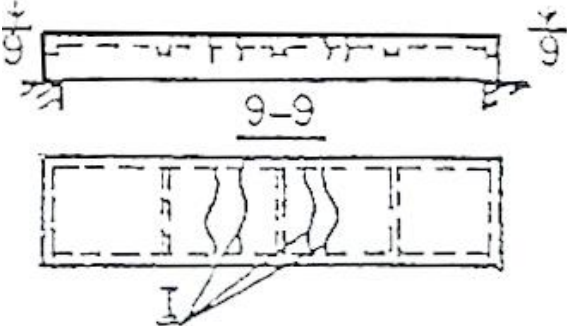
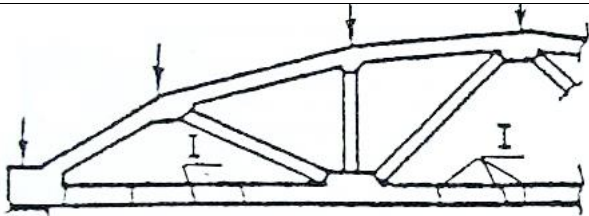
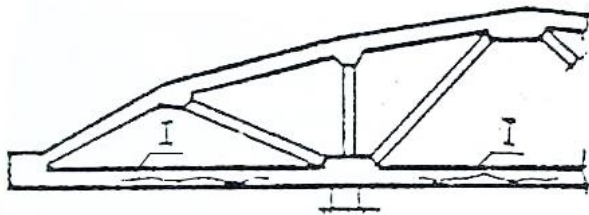
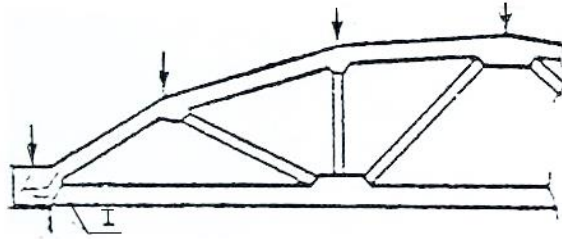
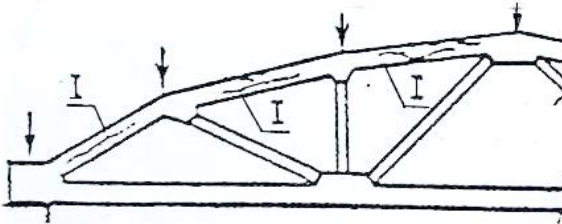
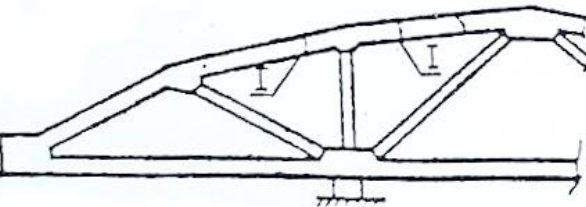
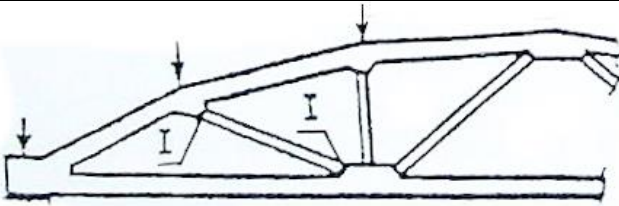
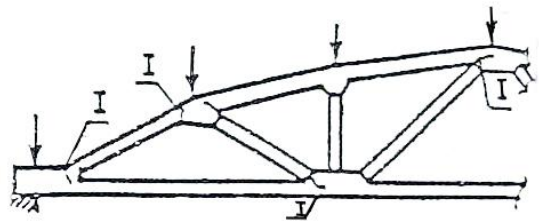
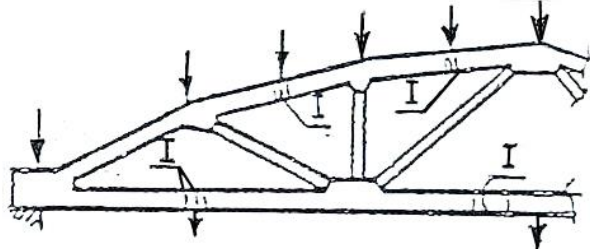
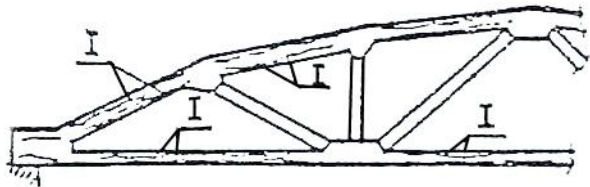
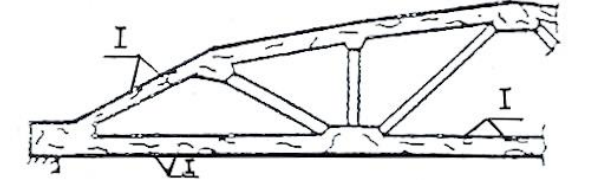
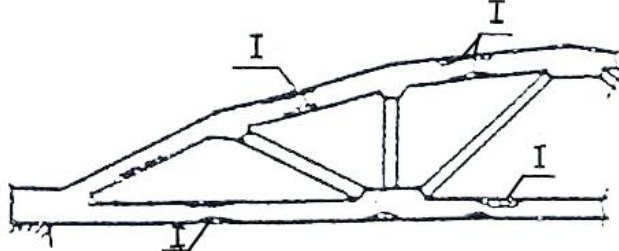
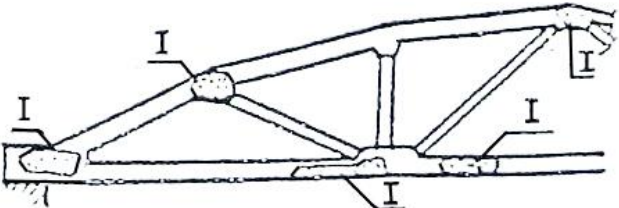
8	Нормальні тріщини в стиснутій зоні		I – нормальні тріщини в стиснутій зоні	Великі зусилля обтискання напруженою арматурою при виготовленні плити. Неправильне перевезення та складування	Підсилення по розрахунку
---	------------------------------------	--	--	--	--------------------------

Табл. А4 Характерні дефекти і пошкодження залізобетонних ферм

№	Вид пошкодження	Схема пошкодження	Опис	Причина пошкодження	Заходи з усунення дефектів і пошкоджень
1	Нормальні тріщини в нижньому поясі		I – нормальні тріщини в нижньому поясі	Перевантаження, недостатнє попереднє напруження поздовжньої арматури	Підсилення по розрахунку
2	Повздовжні тріщини в нижньому поясі		I – повздовжні тріщини в нижньому поясі	Розколювання від підсилення попереднього обтискання при відпустці напруженої арматури, складуванні чи перевезенні	Підсилення по розрахунку

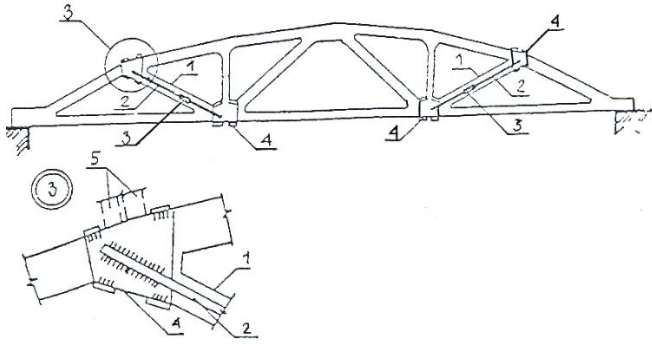
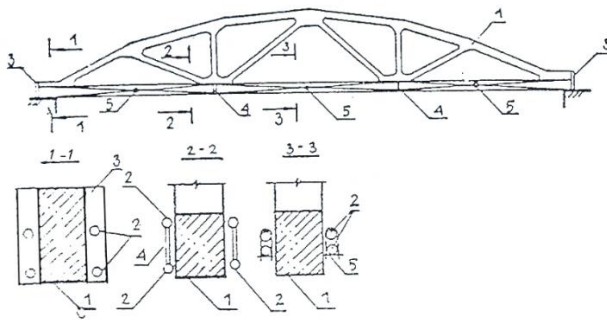
3	Нахилені тріщини в опорній частині		I – нахилені тріщини в опорній частині	Порушення анкеровки напруженої арматури, недостатнє поперечне армування, зниження міцності бетону, перевантаження	Підсилення по розрахунку
4	Повздовжні тріщини у верхньому поясі		I – повздовжні тріщини у верхньому поясі	Перевантаження, недостатня міцність бетону	Підсилення по розрахунку
5	Нормальні тріщини у верхньому поясі		I – нормальні тріщини у верхньому поясі	Поломка з площини під час транспортування, складування або монтажу	Підсилення по розрахунку
6	Тріщини у місцях стикування розкосів із вузлами		I – тріщини в місцях стикування розкосів із вузлами	Порушення анкеровки арматури розтягнутих розкосів	Підсилення по розрахунку
7	Тріщини у вузлах		I – тріщини у вузлах	Недостатнє армування вузлів	Ущільнення вузлів

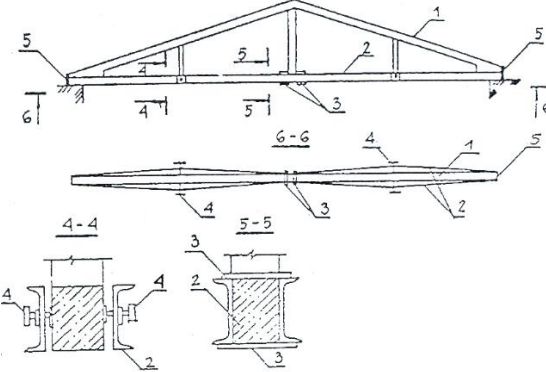
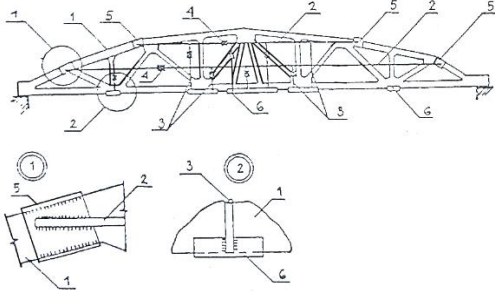
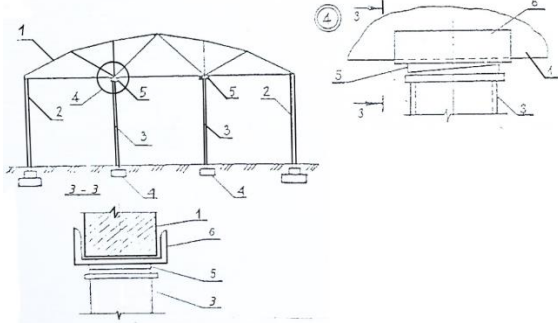
8	Нормальні тріщини в розкосах		I – нормальні тріщини	Позавузлове прикладання навантаження	Зняття позавузлового навантаження, підсилення по розрахунку
9	Тріщини вздовж арматури, іржаві потьoki		I – тріщини вздовж арматури	Корозія арматури внаслідок порушення захисного шару бетону, впливи агресивних середовищ	Захист від корозії, підсилення по розрахунку
10	Усадочні тріщини		I – усадочні тріщини	Температурно-вологісні деформації бетону	Затирання поверхневих тріщин, ін'єктування глибоких тріщин
11	Сколи бетону		I – сколи бетону	Механічні пошкодження при транспортуванні або монтажі	Відновлення пошкоджених ділянок бетону, посилення по розрахунку
12	Відшарування перегрітого бетону		I – відшарування перегрітого бетону	Вогневий вплив при пожежі, тиск новоутворень (солей, льоду)	Відновлення пошкоджених ділянок, підсилення по розрахунку

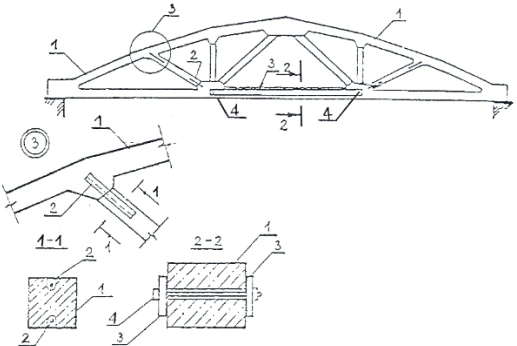
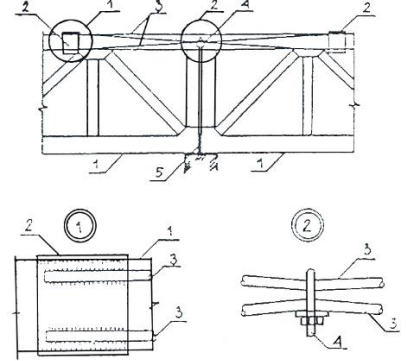
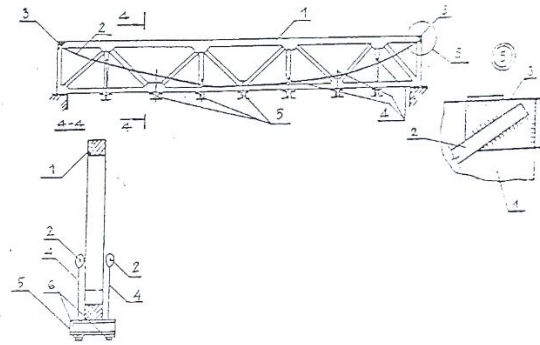
ДОДАТОК Б

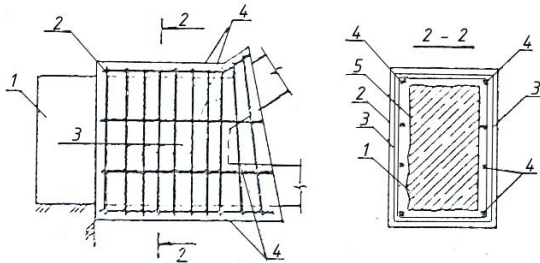
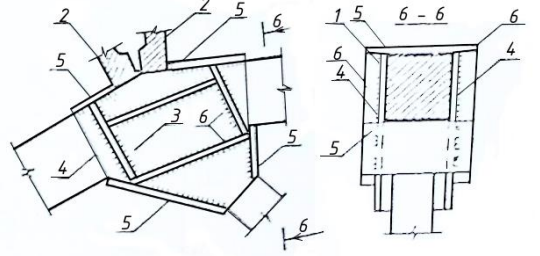
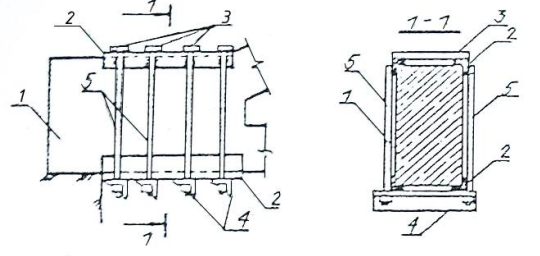
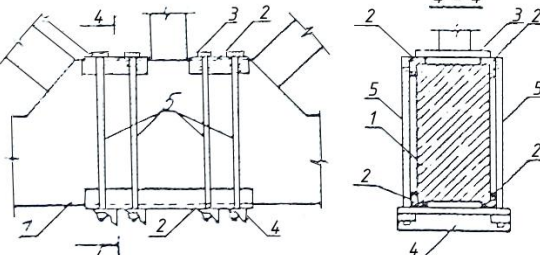
База даних дефектів та пошкоджень залізобетонних елементів

Табл. Б1 Методи підсилення залізобетонних ферм

№	Вид	Метод	Фото	Опис
1	Підсилення залізобетонних кроквяних ферм встановленням затяжок	Встановлення затяжок з арматурної сталі		1 – підсилювана ферма; 2 – затяжка з арматурної сталі; 3 – підвіски з арматурної сталі; 4 – муфти натягу; 5 – охоплюючий хомут з листового металу; 6 – опорні елементи зі швелера (встановити на розчині)
2		Встановлення попередньо напруженої затяжки з арматурної сталі на нижній пояс		1 – підсилювана ферма; 2 – затяжка з попередньо напруженої арматури (Ø25–40 мм, класу А-III); 3 – торцевий опорний лист; 4 – розпірка; 5 – стяжний хомут

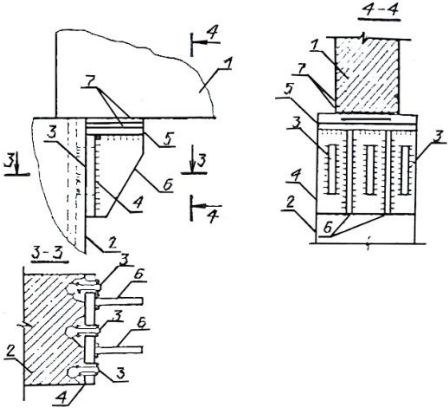
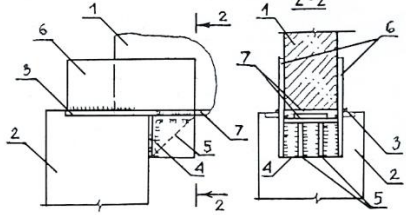
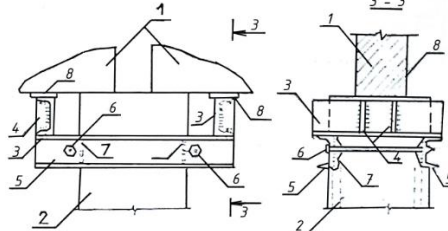
3		Встановлення поперечно напруженої зтяжки зі швелерів на нижній пояс		1 – підсилювана ферма; 2 – зтяжка із поперечно напружених швелерів; 3 – сполучні планки; 4 – розпирний гвинт; 5 – торцевий опорний лист
4		Встановлення системи зтяжок з арматурної сталі на розтягнуті розкоси		1 – підсилювані розтягнуті розкоси ферми; 2 – зтяжка з арматурної сталі; 3 – муфти натягу; 4 – охоплюючий хомут з листового металу та сполучних планок; 5 – ребра плит покриття
5	Підсилення залізобетонних кроквяних ферм встановленням додаткових елементів	Встановлення додаткових опор під нижні проміжні вузли		1 – підсилювана ферма; 2 – існуючі колони; 3 – додаткові опори у вигляді стійок, підведені під проміжні вузли ферми; 4 – фундамент під додаткові опори; 5 – пристосування для включення додаткових опор в роботу (клинці, плоскі домкрати, гвинти тощо) 6 – опорний елемент у вигляді швелера

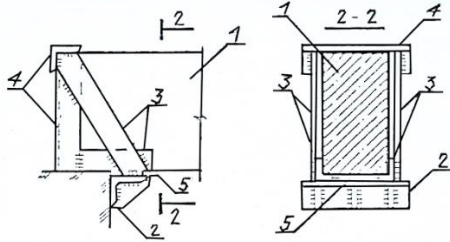
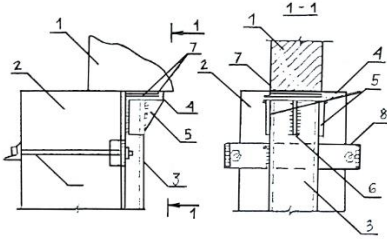
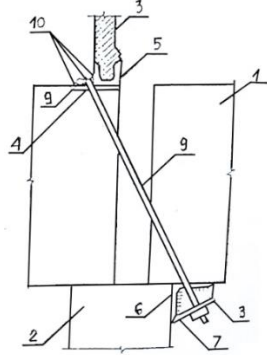
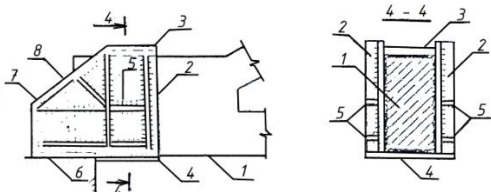
6		Встановлення металевих скоб та пластин на полімеррозчині на розтягнуті елементи		1 – підсилювана ферма; 2 – П-подібні скоби із арматурної сталі, встановлені на полімеррозчині у проразані борозни зі свердловинами на кінцях; 3 – металеві пластини, очищені від окалини та іржі та знежирені (встановлюються на полімеррозчині); 4 – стяжні болти, які встановлюються в отворах, просвердлених у пластинах та фермі
7		Встановлення попередньо напружених затяжок над опорами		1 – підсилювані ферми; 2 – охоплюючі хомути із листового металу; 3 – затяжки з арматурної сталі; 4 – стяжний хомут; 5 – шов між підсилюваними фермами, розклинений сталевими пластинами
8		Встановлення шарнірно-стрижневого ланцюга		1 – підсилювана ферма; 2 – шарнірно-стрижневий ланцюг (арматурні стрижні); 3 – вузол кріплення кріплення ланцюга на фермі; 4 – підвіски, що мають шарнірні кріплення до ланцюга з однієї сторони та різьбу з іншої; 5 – упорні елементи під вузлами ферми у вигляді балок зі швелера; 6 – натяжні гайки

9	Підсилення вузлів залізобетонних ферм	Встановлення залізобетонної обойми на опорному вузлі ферми		1 – опорний вузол ферми; 2 – залізобетонна обойма; 3 – замкнуті поперечні хомути обойми $\varnothing$ 8-12 мм; 4 – поздовжня арматура обойми $\varnothing$ 12-14 мм; 5 – поверхня опорного вузла, підготовлена до бетонування (насічка, зачистка)
10		Встановлення металевої обойми на верхньому проміжному вузлі ферми		1 – проміжний вузол ферми; 2 – плити покриття; 3 – металева обойма, яка встановлюється на цементно-піщаному розчині; 4 – бокові листи обойми, вирізані по контуру вузла; 5 – з'єднувальні листи обойми; 6 – ребра жорсткості
11		Встановлення металевої обойми на опорному вузлі ферми (лист 87)		1 – опорний вузол ферми; 2 – кутики обойми; 3 – з'єднувальні поперечні планки; 4 – з'єднувальні поперечні кутики-планки; 5 – стяжні болти з гайками
12		Встановлення металевої обойми на проміжному вузлі ферми		1 – проміжний вузол ферми; 2 – кутики обойми; 3 – з'єднувальні поперечні планки; 4 – з'єднувальні кутики-планки; 5 – стяжні болти з гайками

13		Встановлення обойми з поверхнево-клейового склопластика на опорному вузлі ферми		1 – опорний вузол ферми; 2 – поверхня вузла, підготовлена до наклеювання (очищення, знежирювання); 3 – склотканина марок СТ-II, СТ-ІЗ чи склосітка марок РС-I, РС-3, очищені від замаслювання; 4 – епоксидний клей
14		Встановлення сталеві обойми на нижньому проміжному вузлі ферми		1 – проміжний вузол ферми; 2 – сталеві листи товщиною 3 мм, очищені з внутрішньої сторони від окалини та знежирені ацетоном; 3 – полімеррозчин (наприклад, на епоксидному клеї); 4 – поверхня вузла, підготовлена до наклеювання листів (очищення, знежирювання); 5 – стяжні болти
15	Підсилення вузлів обпирання кроквяних конструкцій влаштуванням опорних столиків на колонах	Кріплення залізобетонного столика на тяжах та полімеррозчині		1 – кроквяна конструкція; 2 – залізобетонна колона; 3 – збірна залізобетонна консоль, армована сітками та з отворами для встановлення тяжів; 4 – тяжі з шайбами; 5 – планки-кутики; 6 – полімеррозчин; 7 – поверхня колони та консолі, підготовлене до склеювання (зачистка, знежирювання)

16	Кріплення опорних столиків на балках-тримачах		1 – кроквяні конструкції; 2 – залізобетонна колона; 3 – опорні столики; 4 – тримачі зі швелера; 5 – ребра з жорсткості; 6 – стяжні болти; 7 – центруючі пластини-прокладки; 8 – з'єднувальна планка
17	Кріплення опорного столика на анкерних болтах		1 – кроквяна конструкція; 2 – залізобетонна колона; 3 – анкерні болти, встановлені на полімеррозчині; 4 – опорний лист столика з отворами під анкерні болти; 5 – поличка столика; 6 – ребра жорсткості; 7 – полімеррозчин; 8 – пластині-клинці для включення столика в роботу
18	Кріплення опорного столика на болтах та зварці		1 – зміщена кроквяна конструкція; 2 – колона; 3 – опорний столик зі швелера; 4 – лист опорного столика; 5 – ребра жорсткості; 6 – анкерний кутик; 7 – стягуючі болти; 8 – зрублений захисний шар бетону з оголоною робочою арматурою; 9 – пластини-клинці для включення столика в роботу

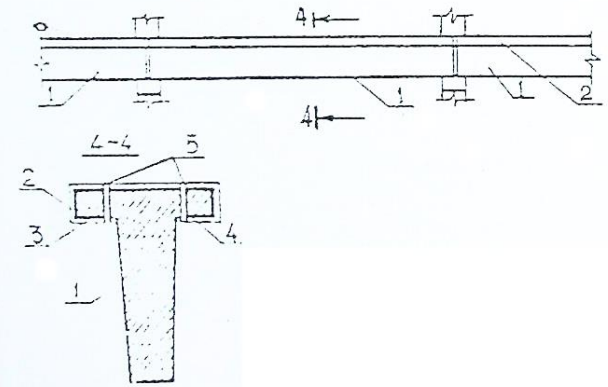
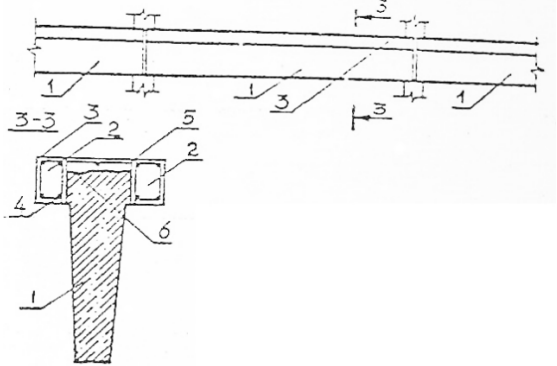
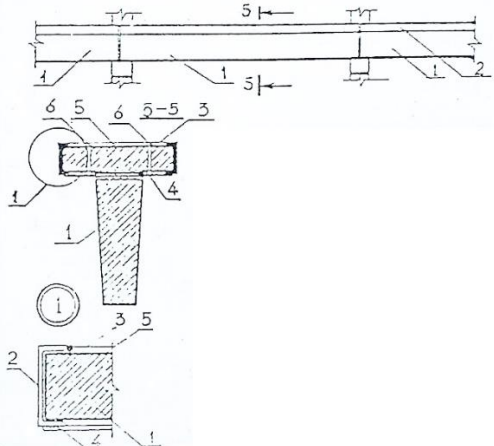
19		Кріплення опорного столика на зварці		1 – кроквяна конструкція; 2 – залізобетонна колона; 3 – пластини, приварені до оголеної арматури колони; 4 – опорний лист столика з отворами, приварений до до пластин; 5 – поличка столика; 6 – ребра жорсткості; 7 – пластині-klinці для включення столика в роботу
20		Кріплення опорного столика на пластинах-тримачах		1 – зміщена кроквяна конструкція; 2 – колона; 3 – закладна деталь колони; 4 – опорний столик з кутика; 5 – ребра жорсткості; 6 – пластини-тримачі, приварені до опорного столика та закладної деталі колони; 7 – пластини-klinці для включення столика в роботу
21	Підсилення вузлів опирання кроквяних конструкцій улаштуванням додаткових елементів	Підведення опорних столиків у вигляді обойми зі швелера (лист 89)		1 – зміщені кроквяні конструкції; 2 – колона; 3 – опорний столик зі швелера; 4 – ребра жорсткості; 5 – опора столиків зі швелера; 6 – стяжні болти; 7 – оголена робоча арматура для приварювання опор столиків; 8 – пластини-klinці для включення столиків у роботу

22	Підведення опорного столика на підвісках		1 – кроквяна конструкція; 2 – опорний столик з ребрами жорсткості; 3 – підвіска столика з пластин; 4 – упори для кріплення підвісок з кутика; 5 – металеві пластини-klinці для включення столиків в роботу
23	Підведення опорного столика на стійці		1 – зміщена кроквяна конструкція; 2 – колона; 3 – стійка зі швелера; 4 – опорний лист столика; 5 – бокові листи столика; 6 – ребро жорсткості; 7 – пластини-klinці для включення столика в роботу; 8 – хомути для кріплення стійки
24	Підведення опорного столика на тяжах (лист 89)		1 – зміщена кроквяна конструкція; 2 – колона; 3 – панель покриття; 4 – закладна деталь кроквяної конструкції; 5 – закладна деталь панелі; 6 – опорний столик з кутика; 7 – пластини-klinці; 8 – ребра жорсткості; 9 – тяжі; 10 – зварювання
25	Влаштування металевої обойми для подовження опорних частин ферм		1 – опорний вузол ферми; 2 – бокові листи обойми; 3 – верхній лист обойми; 4 – нижній лист обойми; 5 – ребра жорсткості; 6 – опорний лист; 7 – задні з'єднувальні листи; 8 – запас

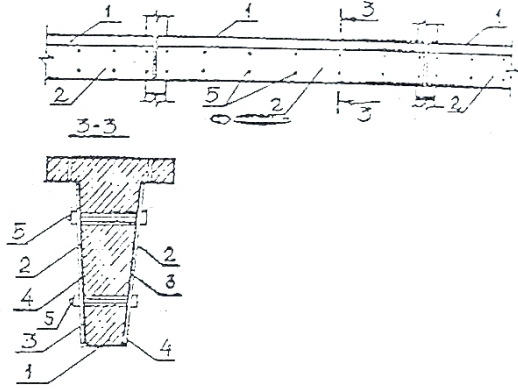
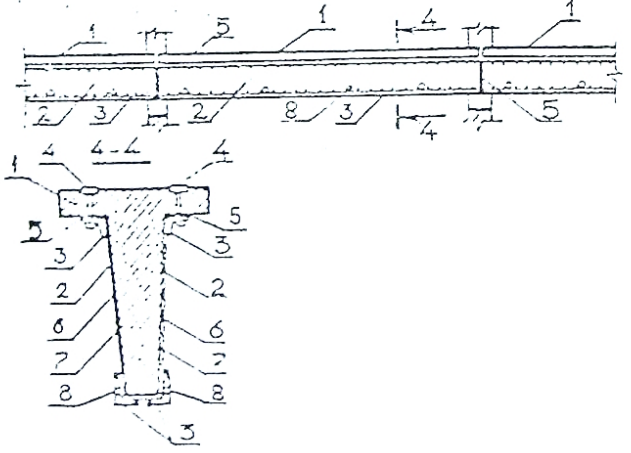
26		Влаштування опорного столика у вигляді залізобетонної обойми-хомута		1 – зміщені кроквяні конструкції; 2 – колона; 3 – залізобетонна обойма-хомут; 4 – горизонтальні замкнені арматурні хомути; 5 – обрублений захисний шар бетону по периметру колони
----	--	---	--	--

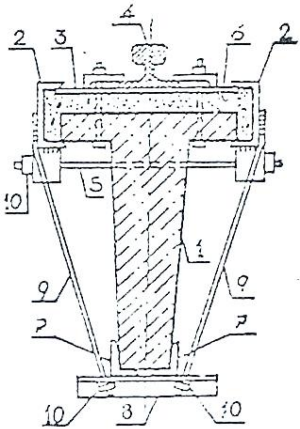
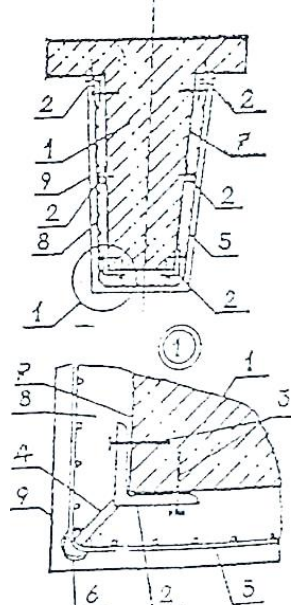
Табл. Б2 Методи підсилення залізобетонних підкранових балок

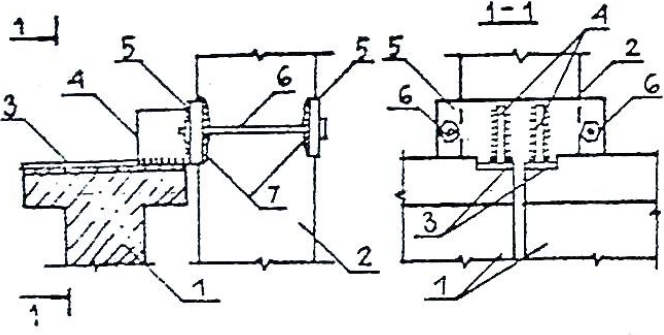
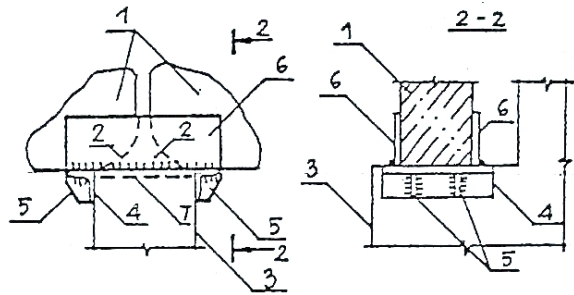
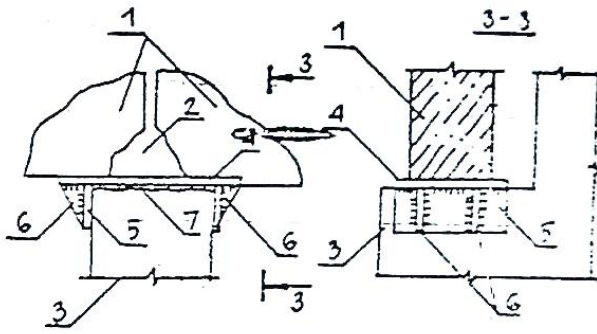
№	Вид	Метод	Фото	Опис
1	Підсилення полиць залізобетонних підкранових балок	Влаштування нарощування із залізобетону		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – залізобетонне нарощування у стисненій зоні; 3 – арматурні сітки; 4 – трубки з внутрішнім діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху; 5 – поверхня балки, підготовлена до бетонування (зачистка, насічка, промивання водою).
2		Влаштування нарощування із листового металу на полімеррозчині		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – нарощування із металевого листа, очищеного з внутрішньої сторони від окалини, іржі та знежиреного ацетоном; 3 – полімеррозчин на епоксидному клеї; 4 – поверхня балки, підготовлена до наклеювання листового металу (зачистка, промивання, знежирення); 5 – отвори діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху; 6 – анкери з арматурної сталі, встановлені на полімеррозчині у висвердлені свердловини та приварені до листа.

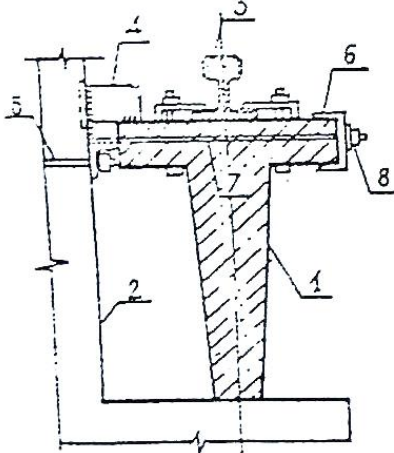
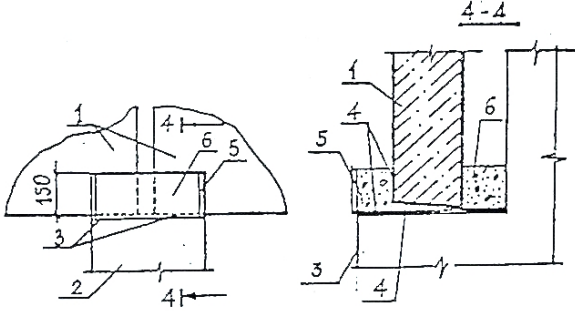
3		Влаштування сорочки зі склопластика		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – поверхнево-оклейковий склопластик із двох шарів склопластику марки СТ-11, СТ-13 або скло сітки марок РС-1, РС-2, очищених від замаслювання; 3 – епоксидний клей; 4 – поверхня балки, підготовлена до наклеювання склопластика (зачистка, знежирювання); 5 – отвори діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху.
4		Влаштування залізобетонної сорочки		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – вцілені зруйновані звиси полиці підкранової балки; 3 – залізобетонна сорочка; 4 – арматурний каркас; 5 – трубки з внутрішнім діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху; 6 – поверхня балки, підготовлена до бетонування (зачистка, насічка, промивання водою).
5		Влаштування металевої обойми		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – металева обойма зі швелерів, встановлених на цементно-піщаному чи полімерному розчині; 3 – з'єднувальні планки через 750 мм між отворами; 4 – з'єднувальні планки з арматурної сталі, встановлені через 750 мм у просвердлені отвори; 5 – стяжка з розчину між з'єднувальними планками; 6 – отвори діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху.

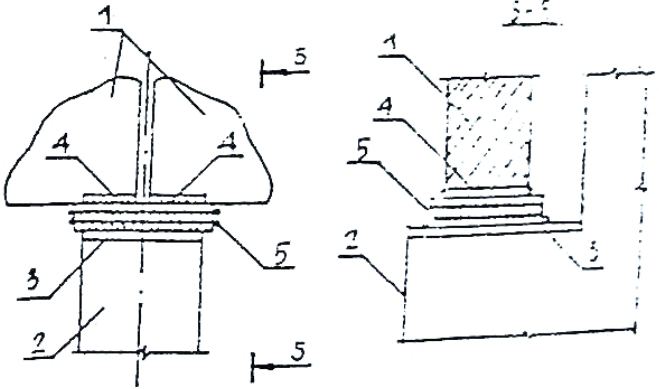
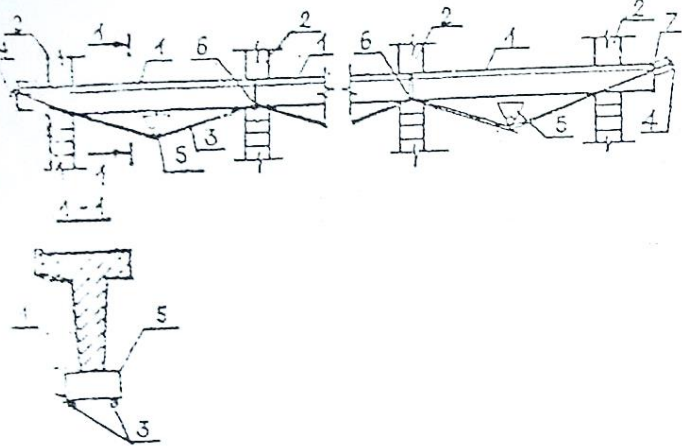
6		Відновлення обетугуванням по адгезійній промазці		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – вцілені зруйновані звиси полиці підкранової балки; 3 – арматурний каркас полицки балки (збережений існуючий чи встановлений новий зі зварюванням до існуючого); 4 – адгезійна промазка з епоксидного клею чи клею ПЕФ-1; 5 – бетонуванням цементним чи полімерним бетоном; 6 – трубки з внутрішнім діаметром 20 мм для кріплення кранового шляху.
7	Підсилення залізобетонних підкранових балок нарощуванням перерізів	Влаштування залізобетонної сорочки		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – залізобетонна сорочка підсилення з цементного чи полімерного бетону; 3 – арматурний каркас; 4 – поверхня балки, підготовлена до бетонування (чищення, насічка, адгезійна промазка з епоксидного клею чи клею марки ПЕФ-1); 5 – заглиблення у сорочці у місцях розташування отворів для кріплення кранового шляху
8		Влаштування сорочки зі склопластика		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – поверхнево-оклейковий склопластик із двох шарів склопластику марки СТ-І1, СТ-І3 або склосітки марок РС-1, РС-2, очищених від замаслювання; 3 – епоксидний клей; 4 – поверхня балки, підготовлена до наклеювання склопластика (зачистка, знежирювання);

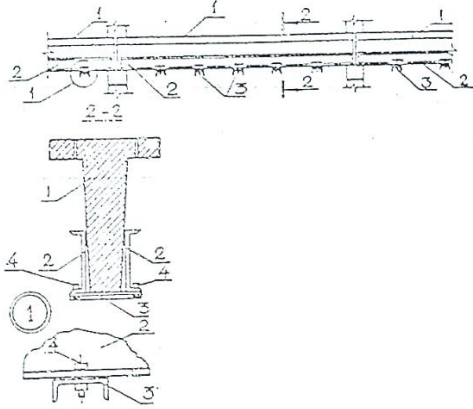
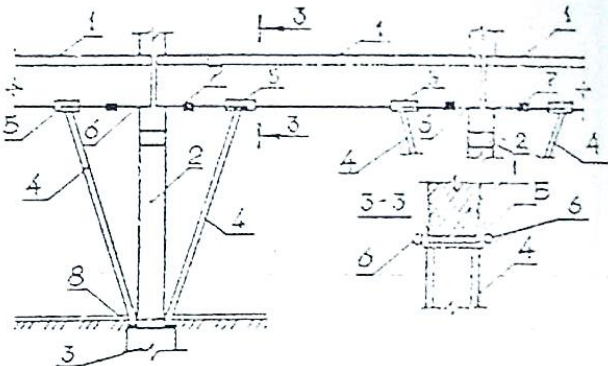
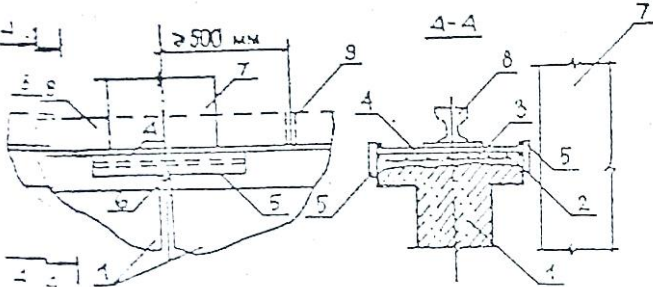
9		Наклейка листового металу на полімеррозчині		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – металеві листи товщиною 2-3 мм, очищення з внутрішньої сторони від окалини та іржі, знежирювання ацетоном; 3 – полімеррозчин (наприклад, на епоксидному клею); 4 – поверхня балки, підготовлена до наклеювання металевих листів (зачистка, промивання, знежирювання); 5 – стяжні болти, встановлені в отворах, просвердлених у балці та металевих листах
10		Влаштування сталевій обійми		1 – підкранові балки, що підсилюють; 2 – сталеві листи обійми товщиною 2-3 мм, очищені з внутрішньої сторони від окалин, іржі та знежирені; 3 – кутики обійми, приварені до листів; 4 – стяжні болти, встановлені через 750 мм у просвердлені отвори 5 – герметизація запасу полімеррозчином по периметру листів; 6 – запас між листами та балкою, ін'єктований епоксидним клеєм; 7 – поверхня балки, підготовлена до наклеювання листів; 8 – отвори з різьбою в кутиках для встановлення швелерів

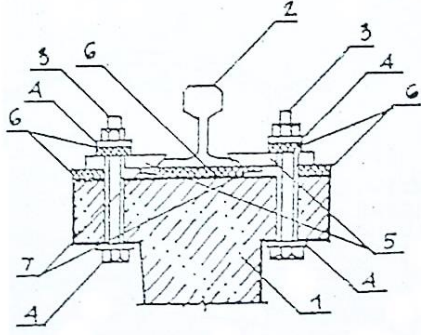
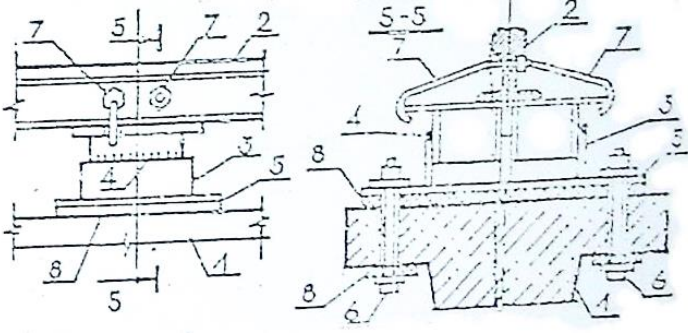
11		Влаштування металевої обойми		1 – підсилювана залізобетонна підкранова балки; 2 – металева обойма полицки зі швелерів; 3 – стяжна планка обойми (вона ж й опорна пластина рельси); 4 – кранова рельса; 5 – стяжні болти обойми, встановлені у просвердлені отвори; 6 – обетонування фібробетоном; 7 – металева обойма балки з кутиків; 8 – поперечні планки обойми; 9 – поперечні хомути обойми; 10 – гайки для натягування болтів та хомутів
12		Набризк бетону по сітці		1 – підсилювана залізобетонна підкранова балки; 2 – металеві прокатні кутики, які кріпляться до балки; 3 – дюбелі, які кріпляться за допомогою пістолета; 4 – арматурні, приварені до кутиків; 5 – арматурна сітка, що прив'язується до стержнів; 6 – в'язальна проволока; 7 – поверхня, підготовлена до бетонування; 8 – набризкбетон; 9 – поверхня після затирання

13	Підсилення вузлів кріплення залізобетонних підкранових балок до колон	Встановлення стяжних болтів та ребер-зв'язків		1 – підкранова балка; 2 – колона; 3 – закладні деталі підкранової балки; 4 – ребра-зв'язки; 5 – пластини відновленої закладної деталі на колоні, що встановлюються на розчин; 6 – стяжні болти; 7 – болти, покладені в захисному шарі бетонного кільця
14		Влаштування столика на ребрах-коромислах		1 – підкранові балки; 2 – зруйновані опори підкранових балок; 3 – консоль колони; 4 – столики з кутика; 5 – ребра жорсткості; 6 – ребра-коромисла; 7 – закладна деталь консолі колони
15		Влаштування столика при відсутності закладної деталі біля консолі колони		1 – підкранові балки; 2 – зруйновані опори підкранових балок; 3 – консоль колони; 4 – лист столика, який вкладають на шар розчину (балки необхідно припідняти); 5 – бокові листи-фіксатори; 6 – ребра жорсткості; 7 – вирівнюючий шар бетону

16		Встановлення стяжних хомутів		1 – залізобетонна підкранова балка; 2 – залізобетонна колона; 3 – крановий рельс; 4 – пошкоджена закладна деталь кріплення підкранової балки до колони; 5 – стяжний хомут з двох кутиків та двох болтів, встановлений на колоні; 6 – обрізок швелера з отвором всередині для стяжного болта; 7 – стяжний болт, встановлений у шві між підкрановими балками та приварений до кутика стяжного хомута; 8 – гайка для натягу болта
17		Обетонуванн я опорних частин полімербетон ом		1 – підкранові балки; 2 – консоль залізобетонної консолі; 3 – проміжок між опорними частинами підкранових балок та консоллю колони; 4 – поверхні консолі та опорних частин підкранових балок, очищені від бруду, олій, іржі, та висушені; 5 – палубка зі сталевих листів висотою 150 мм; 6 – полімербетон

18		Встановлення вирівнюючих опорних прокладок		1 – підкранові балки; 2 – консоль колони; 3 – закладна деталь консолі колони; 4 – закладні деталі підкранових балок; 5 – пакет вирівнюючих листових підкладок (зварити між собою з закладними деталями балок та консолі колони);
19	Підсилення залізобетонних підкранових балок встановленням допоміжних	Встановлення попередньо напружених зтяжок з канату		1 – підсилювані залізобетонні підкранові балки; 2 – колони; 3 – зтяжки з канату; 4 – кінцевий фіксатор зтяжки; 5 – опорні трапеції; 6 – коротиші з арматурної сталі, приварені до закладних деталей колон; 7 – домкрат для натягнення зтяжок (після натягування зтяжок встановлюються розпівки, домкрат прибирається, залишковий простір між балкою та плитою заливається бетоном)

20	елементів	Підведення розвантажувальних балок з прокатного металу		1 – підсилювані підкранові балки; 2 – розвантажуючі балки з прокатного металу (швелер, кутик), прикріплені до закладних деталей консолей колон існуючими анкерними болтами; 3 – перекладини-опори (швелер, кутик), які кріпляться на болтах до розвантажуючих балок; 4 – болти для кріплення
21		Встановлення розвантажувальних підкосів		1 – підсилювані підкранові балки; 2 – колони; 3 – фундамент; 4 – розвантажувальні підкоси з прокатного металу (коробка зі швелерів чи кутиків, труба); 5 – верхня опорна база підкосів зі швелера; 6 – затяжки з арматурної сталі, приварені до баз підкосів та закладних деталей колон; 7 – стяжні муфти; 8 – нижня опорна база з пластин по обрізу фундаменту
22		Встановлення опорного металевий листа		1 – підкранові балки; 2 – зруйновані верхні частини балок; 3 – відновлення зруйнованих ділянок бетоном по сітці; 4 – опорний металевий лист, який встановлюється на розчині; 5 – бокові стінки-обмежувачі; 6 – фіксатор, приварений до опорного листа (входить у шов між балками); 7 – колона; 8 – рельси; 9 – стик рельсів

23		Встановлення елементів кріплення підкранових рельсів		1 – підкранова балка; 2 – підкрановий рельс; 3 – болти для кріплення; 4 – шайби болтів; 5 – прижим; 6 – пружна прокладка; 7 – фіксатор пружної прокладки
24		Встановлення металевої шпали для нівелювання підкранових шляхів		1 – залізобетонна підкранова балка; 2 – підкрановий рельс, що підлягає замальовці по висоті та горизонталі; 3 – зварна металева шпала, стійки-патрубка вільно перехрещуються в оголов'ї; 4 – зварювання стійка-патрубка з нівелювання підкранової рельси; 5 – основа шпали з пазами для кріплення болтів (пази дозволяють рихтувати підкранову рельсу по горизонталі); 6 – болти для кріплення шпали до підкранової балки; 7 – болти для кріплення підкранової рельси до шпали; 8 – амортизуючі прокладки

ДОДАТОК В

Анкета опитування експертів

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ**

Кафедра організації і управління будівництвом

АНКЕТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ З
ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАНЬ КОНСТРУКЦІЙ
ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ**

**При частковому виконанні вимог для отримання ступеня Доктора філософії
в
галузі знань «Архітектура та будівництво» та спеціальності 192 «Будівництво
та цивільна інженерія»**

**Здобувач наукового рівня доктора філософії
Божинський Михайло**

*** Всі відповіді залишаться повністю конфіденційними.**

*** Будь ласка, дайте відповідь, поставивши галочку поруч з відповідним номером.**

Посада відповідача _____.

Шановний експерте!

Вам пропонується методом попарного порівняння оцінити зменшення тривалості робіт ліквідації наслідків позапроектних впливів кожного критерію **з точки зору виконавця робіт з відновлення об'єктів, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів**. Перелік критеріїв, який надається в даному опитуванні, виступає як інструмент обрання найбільш вигідного методу відновлення пошкоджених конструкцій з декількох альтернативних варіантів.

Мета даної анкети полягає в тому, щоб Ви, спираючись на власний досвід та судження як експерта в будівельній галузі, надали оцінку ступеню впливу кожному критерію **з точки зору виконавця робіт з відновлення об'єктів, пошкоджених внаслідок позапроектних впливів**. Оскільки чисельним методом в умовах невизначеності середовища будівельної галузі неможливо дати точну оцінку, то пропонується набір лінгвістичних змінних для надання якісної оцінки, кожна з яких має власний ступінь важливості.

Потрібно надати оцінку саме в порожніх клітинках матриць порівняння. Для розуміння розглянемо приклад, що наведений далі по тексту. Порівняння ведеться по лівому стовпцю (виділено коричневим), тобто якщо починати з першої білої клітинки, то це буде виглядати таким чином:

- який вплив на трудомісткість F2.1 відносно F1.1?
- який вплив на трудомісткість F3.1 відносно F1.1?
- який вплив на трудомісткість F3.1 відносно F2.1?
- який вплив на трудомісткість F4.1 відносно F3.1? і т.д.

Від Вас потребується ставити тільки цифри, тобто ступінь зменшення тривалості робіт (табл. Б.2), пояснення яких наводиться у вигляді лінгвістичної змінної та останнього стовпця таблиці Б.2. Ступені зменшення тривалості робіт «2», «4», «6», «8» використовуються у разі середнього значення між конкретними лінгвістичними змінами. Наприклад, якщо при наданні переваги одного критерію відносно другого немає впевненості щодо обрання точного варіанту між двома ступенями, як сильний вплив (7) та дуже сильний вплив (9), то в такому випадку обирається ступінь зменшення трудомісткості «8», яка є суміжною між «7» та «9». Наприклад, порівнюючи *F2.3 (Організаційні (фактори пов'язані з механізацією))* та *F1.2 (Технічні (економічні фактори))* (див. табл. Б.3) можна сказати, що критерій *F2.3* має рівний вплив у порівнянні з критерієм *F1.2* «1» або помірний вплив «3», тобто є невпевненість між двома судженнями. Тому можна обрати ступінь «2», що є між цими двома судженнями «1» та «3». Див. приклад – виділено жовтим кольором.

У випадку, якщо критерій навпаки не має впливу, тобто вплив має інший критерій, то необхідно обрати потрібну ступінь зменшення тривалості робіт для того іншого критерію, але в клітинку вписати у вигляді дробу. Наприклад, порівнюючи *F3.3 (Технологічні (економічні фактори))* та *F3.1 (Технологічні (людські фактори))* (див. табл. Б.3), можна сказати, що саме F3.1 є впливовішим фактором, а не F3.3. Ця впливовість може бути як «значний вплив», що має ступінь «5», але в даному випадку порівняння ведеться від фактору F3.3, а не F3.1, тому

клітинку заповнимо у вигляді оберненої ступені, тобто «1/5» – у вигляді дробу. Див. приклад в таблиці Б.1 – виділено жовтим кольором.

Таблиця Б.1

Приклад

	F1.1	F1.2	F1.3	F2.1	F2.2	F2.3	F3.1	F3.2	F3.3
F1.1	1								
F1.2		1				1/2			
F1.3			1						
F2.1				1					
F2.2					1				
F2.3		2				1			
F3.1							1		5
F3.2								1	
F3.3							1/5		1

Перед кожною матрицею буде надано перелік критеріїв у відповідності до матриці.

Таблиця Б.2

Шкала відносного впливу факторів на зменшення тривалості робіт

Ступінь впливу на трудомісткість	Лінгвістична змінна (Вплив на зменшення трудомісткості)	Нечітка трикутна шкала	Примітки
1	Рівний вплив	(1,1,1)	Однаковий вплив 2-х факторів
3	Помірний вплив	(1,3,5)	Досвід та судження дають помірне зменшення трудомісткості 1-го фактору порівняно з іншим
5	Значний вплив	(3,5,7)	Досвід та судження дають значне зменшення трудомісткості 1-го фактору порівняно з іншим
7	Сильний вплив	(5,7,9)	Досвід та судження дають сильне зменшення трудомісткості 1-го фактору порівняно з іншим
9	Дуже сильний вплив	(7,9,9)	Максимальне зменшення трудомісткості 1-го фактору порівняно з іншим
2,4,6,8	Проміжне значення між двома сусідніми судженнями	(1,2,4); (2,4,6); (4,6,8); (6,8,9)	Застосовуються в випадках необхідного компромісу

Закон ієрархічної безперервності вимагає, щоб елементи нижчого рівня були попарно порівняні щодо елементів наступного рівня і так до вершини ієрархії. Результати порівнянь формують матрицю, де попарно порівнюють відносний вплив на трудомісткість лівих елементів таблиці (критеріїв) з

елементами (критеріями) вгорі. Якщо елемент зліва впливовіший за елемент вгорі, тоді в клітинку матриці заносимо позитивне ціле число, якщо навпаки – дробове. Якщо обидва критерії рівнозначно впливають на досягнення головної мети – 1.

Таблиця Б.3

Фактори, що впливають на зменшення тривалості робіт ліквідації наслідків позапроектних впливів

	Технічні фактори
F1.1	Технічні (людські фактори)
C1	Наявність повного технічного обстеження
C2	Повнота та якість проектної документації
C3	Використання у проекті інноваційних та нестандартних проектних рішень
C4	Детальний моніторинг пошкоджених конструкцій (геодезична зйомка пошкоджених конструкцій, 3D сканування)
F1.2	Технічні (економічні фактори)
C5	Можливість використання будівельних матеріалів, що знаходяться на підприємстві
C6	Сортамент матеріалів, доступний на ринку
C7	Фактичний технічний стан конструкцій, що потребують відновлення
F1.3	Технічні (фактори пов'язані з механізацією)
C8	Можливість виконання робіт лише малими засобами механізації (перфоратори відбійні молотки, лебідки)
C9	Можливість виконання робіт великими засобами механізації (екскаватори, будівельні крани, самоскиди)
C10	Можливість використання обладнання цехів (підйомні механізми, навантажувачі, засоби транспортування)
C11	Робочі характеристики будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах (вантажопідйомність, можливість комбінованого застосування з використанням змінного навісного обладнання)
C12	Технічний стан будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах
C13	Тип підприємства, що зазнав руйнування від дії позапроектних впливів (характер виробництва, розташування обладнання)
C14	Використання у проекті досвіду попередніх робіт та загально прийнятих проектних рішень
	Організаційні фактори
F2.1	Організаційні (людські фактори)
C15	Присутність кваліфікованої служби замовника
C16	Кваліфіковані будівельні бригади
C17	Детальний авторський нагляд
C18	Проходження експертизи проектної документації
C19	Залучення до виконання робіт значної кількості підрядних організацій
C20	Постійна присутність на будівельному майданчику інженера, що може корегувати проектні рішення
F2.2	Організаційні (економічні фактори)

C21	Наявність безперервного фінансування замовником
C22	Достатні оборотні кошти підрядника
C23	Віддаленість об'єкту від основних баз складування матеріалів
C24	Віддаленість об'єкту від місця можливого проживання робітників
F2.3	Організаційні (фактори пов'язані з механізацією)
C25	Дотримання термінів виконання проектних рішень
C26	Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних проектних рішень
C27	Автоматизація моніторингу для запобігання повторного обвалення
	Технологічні фактори
F3.1	Технологічні (людські фактори)
C28	Можливість виконання робіт паралельно
C29	Наявність достатньої кількості кваліфікованих робітників
C30	Необхідність залучення операторів спеціалізованої техніки
C31	Можливість безперервного виконання робіт (робота у 3 зміни)
F3.2	Технологічні (економічні фактори)
C32	Наявність у підрядника достатньої кількості власних засобів малої механізації
C33	Наявність у підрядної організації власної сировинної бази
C34	Кількість конструкцій, що потребують підпирання
C35	Необхідність виконання розбирання завалів
F3.3	Технологічні (фактори пов'язані з механізацією)
C36	Об'єми пошкодження будівлі
C37	Тип конструкцій, що пошкоджені (ферми, колони, плити)
C38	Місце розташування пошкодження в межах всього об'єму будівлі
C39	Форма завалів та об'єм завалів
C40	Присутність конструкцій, що підлягають додатковому демонтажу
C41	Тип пошкоджених конструкцій, що потребує підпирання
C42	Ускладнені умови виконання робіт великими засобами механізації (екскаватори, будівельні крани, самоскиди)
C43	Наявність можливості влаштування достатньої за розмірами зони виконання робіт
C44	Необхідність залучення спеціалізованого обладнання (крани більше 100т, перевезення великогабаритних вантажів)
C45	Доступ до інноваційного обладнання та методів відновлення

Примітка.

Нижче наведено пояснення до розподілу критеріїв:

- Технічні – фактори, пов'язані з матеріально-технічною базою будівництва, рівнем механізації, інженерними рішеннями. (Людські, економічні, механізація)
- Організаційні – фактори, пов'язані з управлінням, координацією, плануванням та логістикою. (Людські, економічні, механізація)
- Технологічні – фактори, пов'язані з особливостями самого будівельного процесу, вибраної технології, способів виконання робіт. (Людські, економічні, механізація).

Таблиця Б.4

Лінгвістична оцінка попарного порівняння факторів (другий ієрархічний рівень)

	F1.1	F1.2	F1.3	F2.1	F2.2	F2.3	F3.1	F3.2	F3.3
F1.1	1								
F1.2		1							
F1.3			1						
F2.1				1					
F2.2					1				
F2.3						1			
F3.1							1		
F3.2								1	
F3.3									1

Таблиця Б.5

Перелік критеріїв C1-4

Критерії фактору F1.1 «Технічні (людські фактори)»	
C1	Наявність повного технічного обстеження
C2	Повнота та якість проектної документації
C3	Використання у проекті інноваційних та нестандартних проектних рішень
C4	Детальний моніторинг пошкоджених конструкцій (геодезична зйомка пошкоджених конструкцій, 3D сканування)

Таблиця Б.6

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F1.1** «Технічні (людські фактори)»

	C1	C2	C3	C4
C1	1			
C2		1		
C3			1	
C4				1

Таблиця Б.7

Перелік критеріїв C5-7

Критерії фактору F1.2 «Технічні (економічні фактори)»	
C5	Можливість використання будівельних матеріалів, що знаходяться на підприємстві
C6	Сортамент матеріалів доступний на ринку
C7	Фактичний технічний стан конструкцій, що потребують відновлення

Таблиця Б.8

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F1.2** «Технічні (економічні фактори)»

	C5	C6	C7
C5	1		
C6		1	
C7			1

Таблиця Б.9

Перелік критеріїв C8-14

Критерії фактору F1.3 «Технічні (фактори пов'язані з механізацією)»	
C8	Можливість виконання робіт лише малими засобами механізації (перфоратори відбійні молотки, лебідки)
C9	Можливість виконання робіт великими засобами механізації (екскаватори, будівельні крани, самоскиди)
C10	Можливість використання обладнання цехів (підйомні механізми, навантажувачі, засоби транспортування)
C11	Робочі характеристики будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах (вантажопідйомність, можливість комбінованого застосування з використанням змінного навісного обладнання)
C12	Технічний стан будівельної техніки, що задіяна в відновлювальних роботах
C13	Тип підприємства, що зазнав руйнування від дії позапроектних впливів (характер виробництва, розташування обладнання)
C14	Використання у проекті досвіду попередніх робіт та загально прийнятих проектних рішень

Таблиця Б.10

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F1.3** «Технічні (фактори пов'язані з механізацією)»

	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
C8	1						
C9		1					
C10			1				
C11				1			
C12					1		
C13						1	
C14							1

Таблиця Б.11

Перелік критеріїв C15-20

Критерії фактору F2.1 «Організаційні (людські фактори)»	
C15	Присутність кваліфікованої служби замовника
C16	Кваліфіковані будівельні бригади
C17	Детальний авторський нагляд
C18	Проходження експертизи проектної документації
C19	Залучення до виконання робіт значної кількості підрядних організацій
C20	Постійна присутність на будівельному майданчику інженера, що може корегувати проектні рішення

Таблиця Б.12

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F2.1** «Організаційні (людські фактори)»

	C15	C16	C17	C18	C19	C20
C15	1					
C16		1				
C17			1			
C18				1		
C19					1	
C20						1

Таблиця Б.13

Перелік критеріїв C21-24

Критерії фактору F2.2 «Організаційні (економічні фактори)»	
C21	Наявність безперервного фінансування замовником
C22	Достатні оборотні кошти підрядника
C23	Віддаленість об'єкту від основних баз складування матеріалів
C24	Віддаленість об'єкту від місця можливого проживання робітників

Таблиця Б.14

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F2.2** «Організаційні (економічні фактори)»

	C21	C22	C23	C24
C21	1			
C22		1		
C23			1	
C24				1

Таблиця Б.15

Перелік критеріїв C25-27

Критерії фактору F2.3 «Організаційні (фактори пов'язані з механізацією)»	
C25	Дотримання термінів виконання проектних рішень
C26	Автоматизація прийняття рішень за допомогою використання баз даних стандартних проектних рішень
C27	Автоматизація моніторингу для запобігання повторного обвалення

Таблиця Б.16

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F2.3** «Організаційні (фактори пов'язані з механізацією)»

	C25	C26	C27
C25	1		
C26		1	
C27			1

Таблиця Б.17

Перелік критеріїв C28-31

Критерії фактору F3.1 «Технологічні (людські фактори)»	
C28	Можливість виконання робіт паралельно
C29	Наявність достатньої кількості кваліфікованих робітників
C30	Необхідність залучення операторів спеціалізованої техніки
C31	Можливість безперервного виконання робіт (робота у 3 зміни)

Таблиця Б.18

Лінгвістична оцінка попарного порівняння критеріїв фактору **F3.1** «Технологічні (людські фактори)»

	C28	C29	C30	C31
C28	1			
C29		1		
C30			1	
C31				1

Таблиця Б.19

Перелік критеріїв C32-35

Критерії фактору F3.2 «Технологічні (економічні фактори)»	
C32	Наявність у підрядника достатньої кількості власних засобів малої механізації
C33	Наявність у підрядної організації власної сировинної бази
C34	Кількість конструкцій, що потребують підпирання
C35	Необхідність виконання розбирання завалів

ДОДАТОК Г

ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ТРИВАЛОСТІ ПРОСТИХ ОПЕРАЦІЙ

Таблиця Г.1 – Середня тривалість операцій у складі простих процесів ліквідації та локалізації розвитку руйнувань за даними експертного оцінювання

Ім'я завдання	S1	S2	S3	S4
1	2	3	4	5
1. Вибух та позапроектний вплив на конструкції	0 год	0 год	0 год	0 год
2. Горіння та ліквідація осередків пожежі	2 год	2 год	2 год	2 год
2.1 Прибуття ДСНС	0.25 год	0.25 год	0.25 год	0.25 год
2.2 Оцінка масштабів пожежі, розгортання рукавів	0.25 год	0.25 год	0.25 год	0.25 год
2.3 Ліквідація пожежі	1.5 год	1.5 год	1.5 год	1.5 год
3 Першочергові демонтажні та стабілізуючі роботи	3,5 год	3,5 год	3,5 год	3,5 год
3.1 Попередній огляд, оцінка ситуації та обсягів руйнування (Приїзд ДСНС, попередній огляд)	0,5 год	0,5 год	0,5 год	0,5 год
3.2 Прийняття попередніх організаційно - технологічних рішень	0,25 год	0,25 год	0,25 год	0,25 год
3.3 Відключення електропостачання в прольоті споруди (Запас часу на пошук щитка, та перевірку)	0,25 год	0,25 год	0,25 год	0,25 год
3.4 Евакуація робітників (пошук журналу обліку робітників, перекличка людей)	1 год	1 год	1 год	1 год
3.5 Розбирання завалів для звільнення робітників з під завалів(в залежності від кількості людей під завалами, та важкості)	1,5 год	1,5 год	1,5 год	1,5 год
4 Вибір організаційно-технологічних рішень	17 год	17 год	28,5 год	21,5 год
4.1 Перевірка технічного стану підкранових конструкцій та працездатності мостового крану	-	-	1 год	1 год

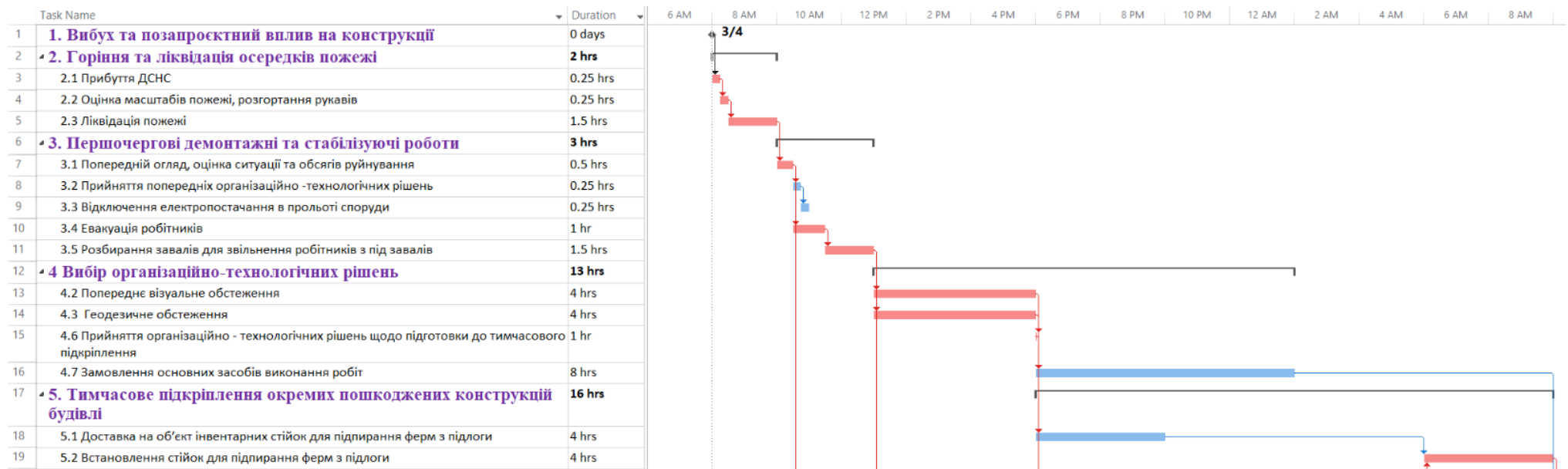
(Перевірка електропостачання крану, термінові роботи щодо його відновлення, візуальний огляд підкранових балок та рейок, тестовий проїзд)				
4.2 Попереднє візуальне обстеження	4 год	4 год	4 год	4 год
4.3 Геодезичне обстеження	4 год	4 год	4 год	4 год
4.4 Першочергові демонтажні роботи	-	-	4 год	4 год
4.5 Оцінка можливості підпирання конструкцій покриття мостовим краном (підбір стійок згідно з алгоритмом)	-	-	8 год	0.5 год
4.6 Прийняття організаційно - технологічних рішень щодо підготовки до тимчасового підкріплення (замовлення зі складу інвентарних стійок)	1 год	1 год	-	-
4.7 Замовлення основних засобів виконання робіт	8 год	8 год	-	-
4.8 Монтаж монтажного майданчика				
4.8.1 Прийняття рішення щодо типу монтажного майданчика(Підбір розмірів відповідно до алгоритму та призначення)	-	-	1 год	0.5 год
4.8.2 Замовлення зі складу комплекту монтажного майданчика обраного типорозміру	-	-	1 год	1 год
4.8.3 Доставка комплекту на об'єкт	-	-	2 год	2 год
4.8.4 Приїзд автокрану	-	-	2 год	2 год
4.8.5 Підйом монтажного майданчика	-	-	1 год	1 год
4.8.6 Фіксація та перевірка монтажного майданчика	-	-	0.5 год	0.5 год
5. Тимчасове підкріплення окремих пошкоджених конструкцій будівлі	8 год	8 год	8 год	8 год
5.1а Доставка на об'єкт інвентарних стійок для підпирання ферм з мостового крану	-	-	4 год(п)	4 год(п)
5.1б Доставка на об'єкт інвентарних стійок для підпирання ферм з підлоги	4 год	4 год	-	-
5.2а Встановлення стійок для підпирання ферм з мостового крану (підняття стійок, встановлення)	-	-	4 год	4 год

5.26 Встановлення стійок для підпирання ферм з підлоги	4 год	4 год	-	-
6. Розбір завалів	8 год	8 год	8 год	8 год
6.1 Частковий розбір завалів для встановлення інвентарних стійок для підпирання ферм	12 год	12 год	-	-
6.2 Розбір завалів для монтажу конструкцій риштувань чи заїзду підйомника	6 год	8 год	-	-
7. Роботи з тимчасового підсилення конструкцій покриття				
7.1 Прийняття організаційно-технологічних рішень щодо методів відновлення	4 год	4 год	4 год	0.5 год
7а. Тимчасового підсилення ферми з використанням риштувань				
7а.1 Встановлення риштувань	40 год	-	-	-
7б. Тимчасового підсилення ферми з використанням ножичного підйомника				
7б.1 Підготовчі роботи до виконання робіт з підйомної платформи ножичного типу	-	0.5 год	-	-
7в. Тимчасового підсилення ферми з використанням монтажного майданчика				
7в.1 Підготовчі роботи до виконання робіт з монтажного майданчика	-	-	0.5 год	0.5 год
7.2 Виконання робіт з відновлення ферм	20 год	20 год	20 год	20 год
8. Моніторинг динаміки розвитку руйнувань будівлі та в період її відновлення	84 год	49,5 год	43 год	34,5 год
8.1 Моніторинг в період виконання першочергових рятувальних робіт	3 год	3 год	3 год	3 год
8.2 Геодезичний моніторинг	81 год	47 год	40 год	31.5 год
9. Завершення робіт з тимчасового підсилення та початок консервації	0 год	0 год	0 год	0 год

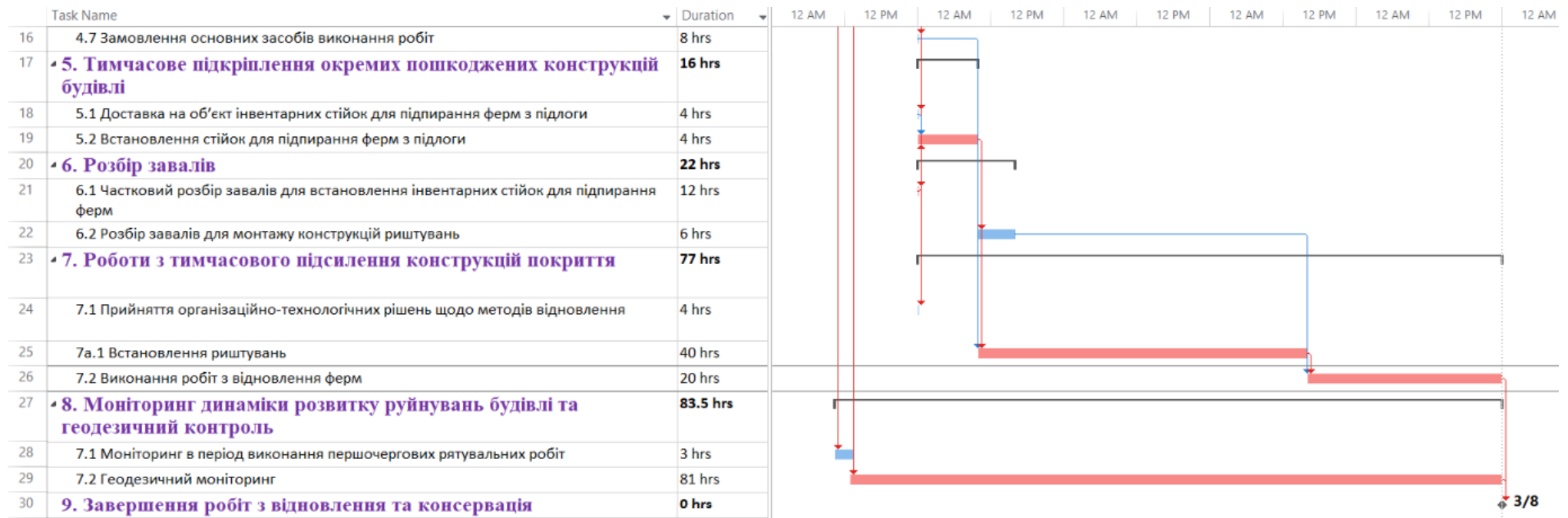
ДОДАТОК Д

ВАРІАНТИ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРОЦЕСУ ЛІКВІДАЦІЇ НАСЛІДКІВ АВАРІЙНИХ РУЙНУВАНЬ

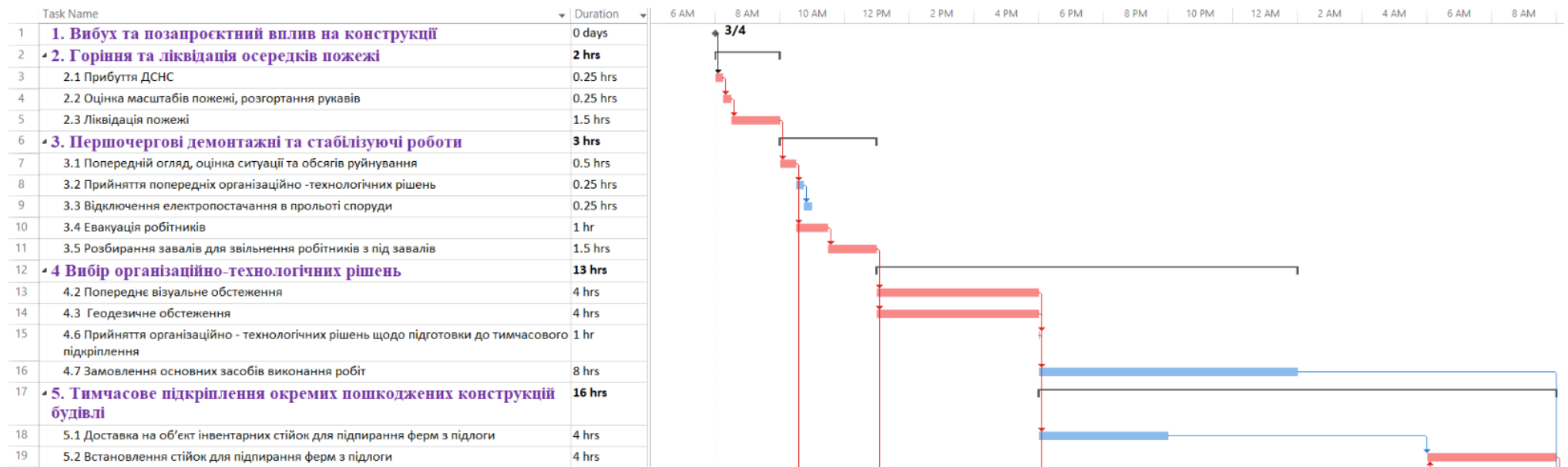
Таблиця Н.1 - Ліквідація наслідків руйнувань із застосуванням класичних риштувань



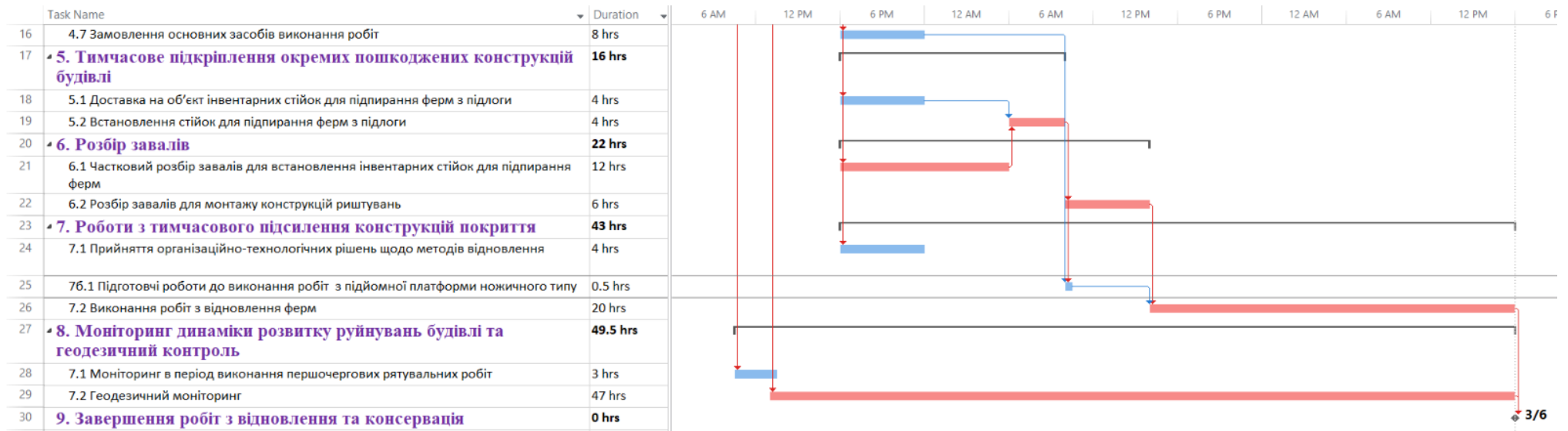
Продовження таблиці Н.1



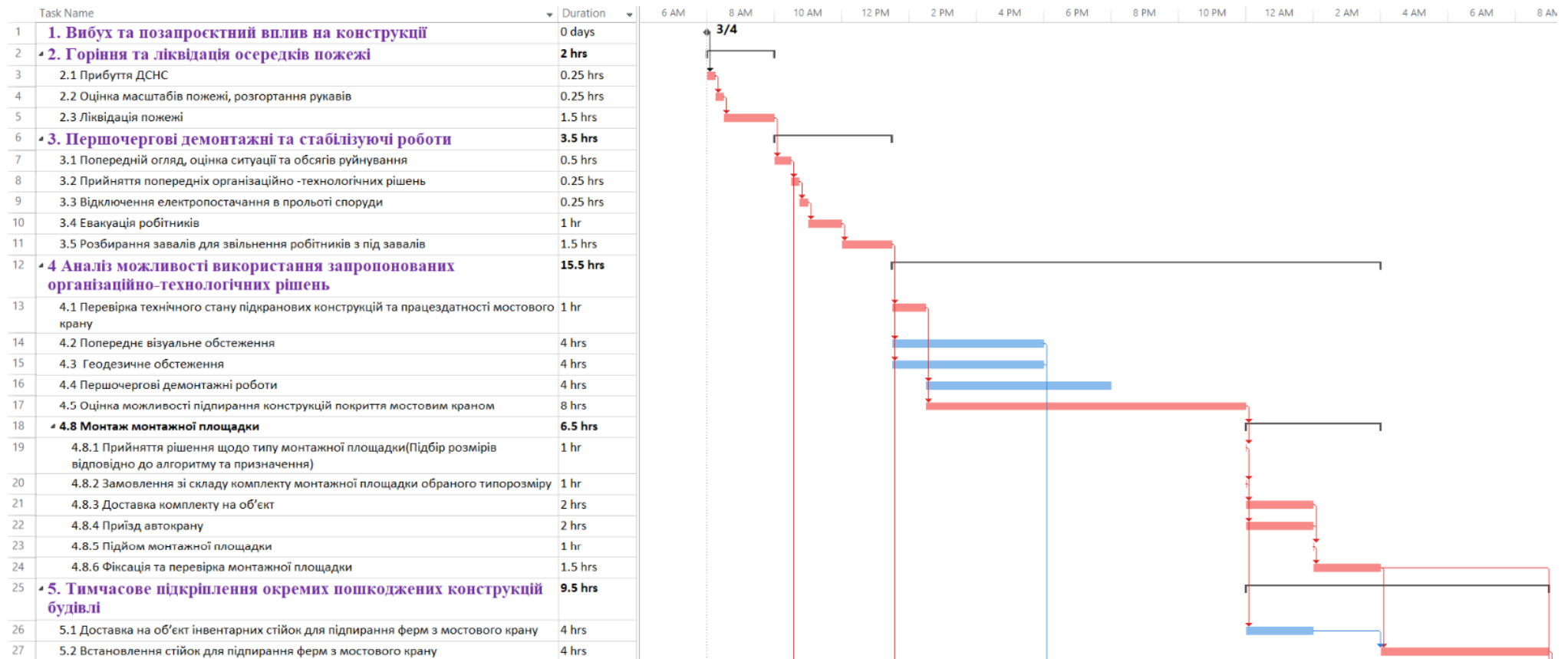
Таблиця Н.2 - Ліквідація наслідків руйнувань із застосуванням ножичного підйомника



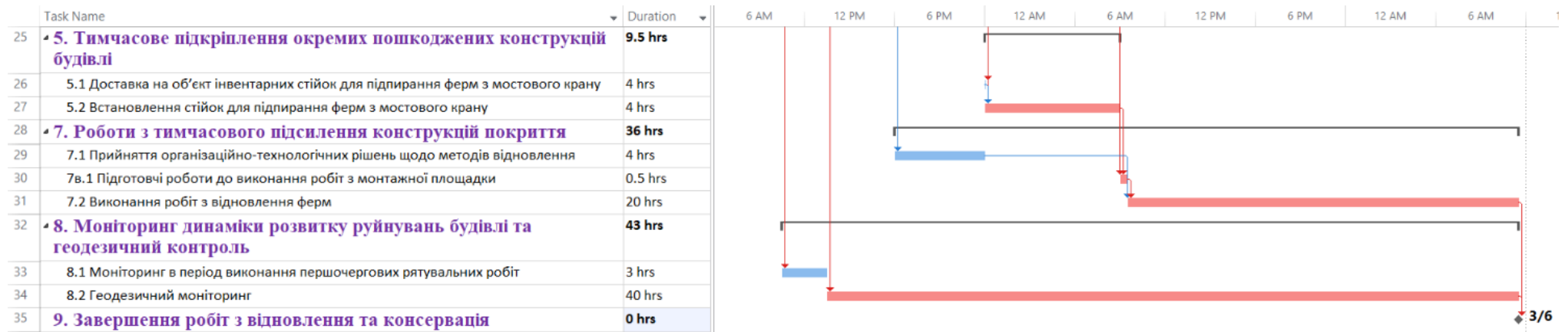
Продовження таблиці Н.2



Таблиця Н.3 - Ліквідація наслідків руйнувань із застосуванням монтажного майданчика



Продовження таблиці Н.3



Таблиця Н.4 - Ліквідація наслідків руйнувань із застосуванням монтажного майданчика + ІМСОП



ДОДАТОК Е

Технологічна карта на виконання монтажно-ремонтних робіт з тимчасової монтажної платформи, влаштованої на мостовому крані

1. Сфера застосування

1.1. Дана технологічна карта описує можливість використання тимчасової монтажної платформи, що влаштовується в зоні роботи візка мостового крану.

1.2. Тимчасову монтажну платформу можна характеризувати як підмости, що використовуються для поточного ремонту та відновлення пошкоджених несучих конструкцій покриття промислових будівель (рис 1.1).

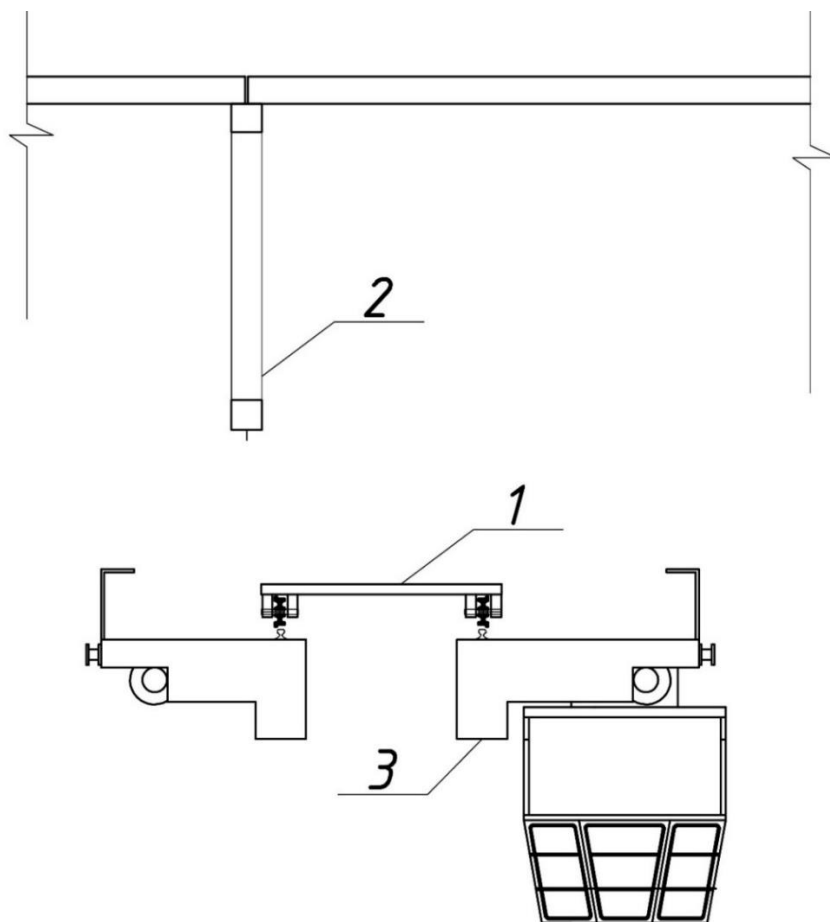


Рис.1.1 Розріз по монтажній платформі: 1 – монтажна платформа, 2 – несучі конструкції, 3 – мостовий кран.

1.3. Основним напрямком використання монтажної платформи є виконання робіт у зоні конструкцій покриття, особливо за неможливості використання традиційних засобів, таких як будівельне риштування чи телескопічні автовежі.

2. Організація та технологія будівельного процесу(монтаж та доступ).

2.1. Використання даної технології обмежено робочою зоною мостового крану.

2.2. Забезпечити мінімальний зазор 100 мм між найвищою точкою та найнижчою відміткою конструкцій покриття.

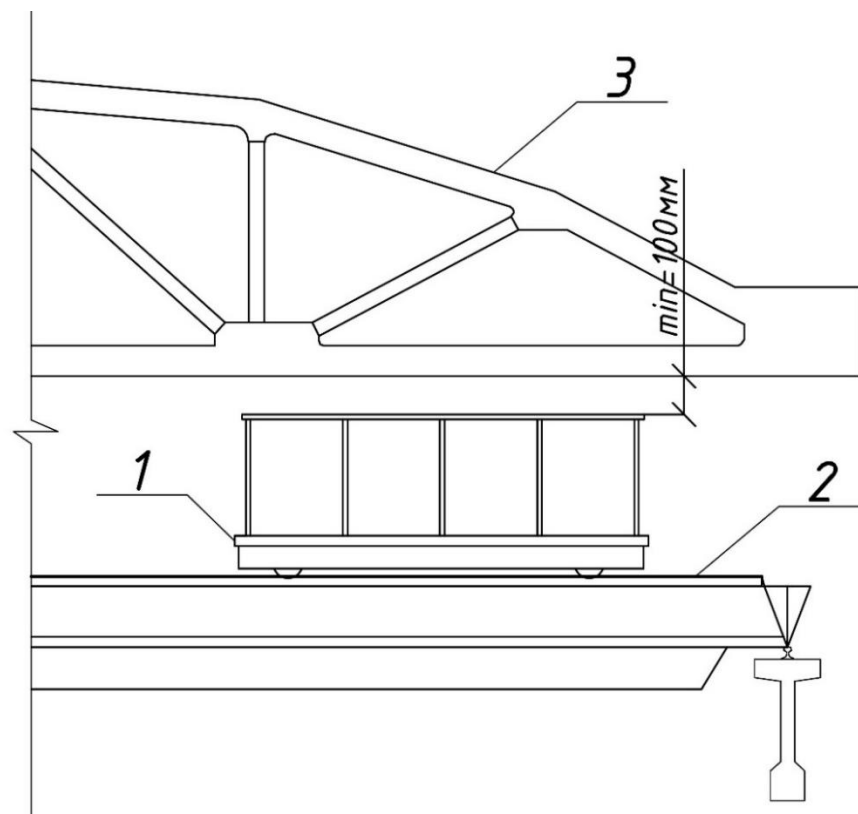


Рис.1.2 Розріз по мостовому крану: 1 – монтажний майданчик; 2 – рейка кранового візку; 3 – кроквяні конструкції.

2.3. Перед вибором методу відновлення за допомогою монтажних майданчиків та його встановлення в робоче положення, в зоні роботи мостового крану треба забезпечити виконання наведених умов:

- Провести перевірку технічного стану та працездатності мостового крана.
- При наявності зруйнованих чи пошкоджених підкранових конструкцій, виконати їх відновлення чи обмежити зону роботи крана відповідно до безпечних умов експлуатації.

- У разі наявності пошкоджених конструкцій на шляху руху крана, їх демонтаж або усунення може здійснюватися в процесі експлуатації монтажної площадки відповідно до правил техніки безпеки.

- Перевірити відповідність робочих характеристик крана необхідним параметрам монтажної площадки для виконання поставлених задач.

2.4. Монтажна платформа має різні конфігурації:

Таблиця 1

Характеристика та особливості монтажних платформ за матеріалом виготовлення

Тип монтажної платформи	Характеристика та особливості монтажної платформи
Платформа з металевих гарячекатаних профілів	Представляє собою зварну чи збірну конструкцію. Головною перевагою є технологічна розповсюдженість даного матеріалу. Може виготовлятися як в заводських умовах, так і на майданчику. Основною перевагою є швидкість та легкість влаштування за допомогою автокрану.
Платформа з металевих холоднокатаних профілів	Основною перевагою є легкість монтажу платформи, можливість підйому частинами без використання крану.
Платформа з дерев'яним несучим каркасом	Головним недоліком є анізотропність дерева та погана вогнестійкість, та як наслідок неможливість забезпечення безпечного використання в умовах висотних робіт.
Комбіновані	Можливість більш гнучкого використання платформи, наприклад, використання металевої платформи та дерев'яного настилу.

Таблиця 2

**Характеристика та особливості монтажних платформ за способом
виготовлення чи складання**

Тип монтажної платформи	Характеристика та особливості монтажної платформи
Металеві інвентарні зварні платформи	Платформи можуть бути виготовлені в заводських умовах, що дозволяє зменшити трудомісткість на виробництво, та збільшити точність. Але для монтажу платформи на робоче місце потрібен кран.
Зварні платформи, що влаштовуються по місцю роботи	Головною перевагою виготовлення безпосередньо на конструкції крану, що дозволяє не використовувати автокран. Недоліками є виконання зварювальних робіт в складних висотних умовах.
Збірні платформи з металевих профілів	Платформи монтуються безпосередньо на робочому місці з металевих холоднокатаних або гарячекатаних профілів, з'єднаних між собою за допомогою болтових з'єднань.
Дерев'яні	Збирання без використання електричного інструменту, розповсюдженість матеріалу в будь-якому регіоні. Можливість вторинного використання сировини.

Таблиця 3

**Характеристика та особливості монтажних платформ за можливістю
переміщення**

Тип монтажної платформи	Характеристика та особливості монтажної платформи
На колесах	Можливість переміщення по рейках без засобів механізації. Необхідно фіксувати на упори
На опорах	Для переміщення вздовж рейок потребує засоби в механізації (лебідка, домкрат). Механічне переміщення по рейкам можливе лише при забезпеченості цілісності рейок кранового візка.

2.4.1. За габаритами:

Ширину між опорами робочої площадки приймається згідно прольоту між рейками візка мостового крану. Довжину між опорами приймаємо згідно потреби, але не менше як у співвідношенні 1:1 до ширини.

Таблиця 4

Рекомендовані габарити платформи

Ширина (проліт-L), м	Довжина, м		
	2	4	6
1.4 м	+		
1.6 м	+		
1.8 м	+	+	
2.0 м	+	+	+
2.2 м		+	+
2.4 м		+	+
2.6 м		+	+
2.8 м		+	+
3.0 м		+	+

Монтажний майданчик може мати консольні виступи по ширині в одну або обидві сторони залежно від поставленої задачі. Консольний виступ приймається за попередніми розрахунками, але не більше ніж половина ширини площадки ($L/2$)

Висоту приймаємо згідно потреби, у типорозмірах 0.5 м, 1 м, 1.5 м, 2 м. Висота 0.5 м є мінімальною з конструктивних умов.

2.5. Також при виборі платформи треба прийняти до уваги можливість повторного використання. За неможливості використання автокрану, рекомендовано використовувати збірні платформи.

2.6. В залежності від типу платформи за способом виготовлення чи складання, можна виділити два варіанти підйому:

- Цільна зварна платформа. Підйом можливий за допомогою автокрану чи роликів підйомних систем. На рисунку 2.1 наведено приклад підйому платформи.

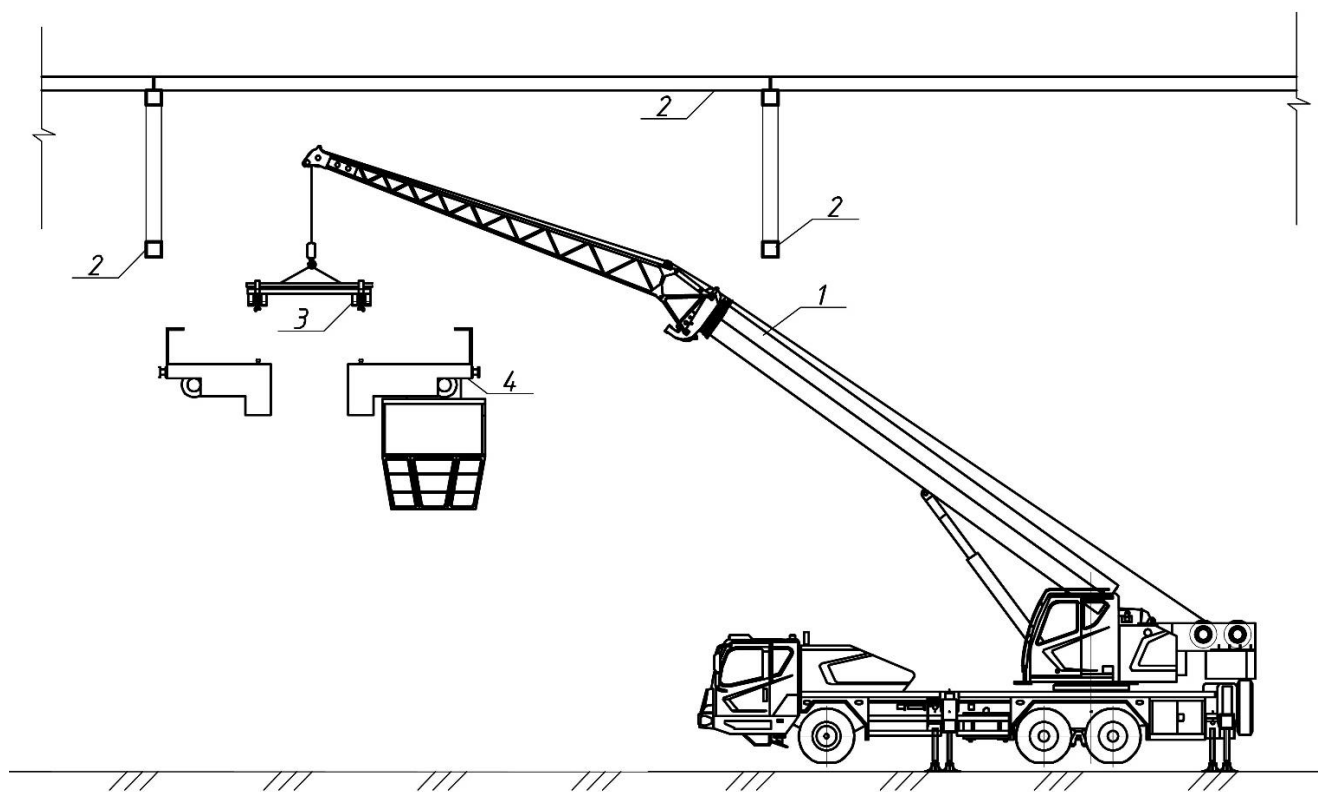


Рис. 2.1 Розріз по монтажній платформі: 1 – автокран, 2 – несучі конструкції, 3 – монтажна платформа, 4 – мостовий кран.

Підйом виконують у три етапи:

- 1) Підняття монтажної платформи (3) на потрібний рівень, при цьому мостовий кран (4) відведено.
- 2) Підведення мостового крана під монтажну площадку та її встановлення безпосередньо на конструкціях мостового крана(рис.2.1)
- 3) Відведення мостового крана для складання стріли автокрана

Під час проведення монтажних робіт з автокрана необхідно скласти монтажний план із зазначенням габаритних розмірів крана та конструкцій.

- Збірна платформа. Доцільно виконувати підйом деталей за допомогою мінікрана.

2.7. При встановленні площадки автокраном треба забезпечити дані умови:

- Виконати монтажний план, для перевірки та забезпечення можливості монтажу платформи у існуючих габаритах будівлі.
- навантаження на мостовий кран:

Таблиця 5

Навантажень на кран і на колесо

Ширина (проліт), м	Довжина, м		
	2	4	6
1.4 м	+		
1.6 м	+		
1.8 м	+	+	
2.0 м	+	+	+
2.2 м		+	+
2.4 м		+	+
2.6 м		+	+
2.8 м		+	+
3.0 м		+	+

2.8. При складанні збірної площадки треба забезпечити данні умови:

- Перевірка геометричних розмірів
- Перевірити надійність опирання конструкції на рейки візка мостового крану

2.9. Обмеження експлуатації платформи визначаються розташуванням вантажного візка. У разі необхідності допускається його тимчасовий демонтаж, для використання платформи по всій ширині мостового крана.

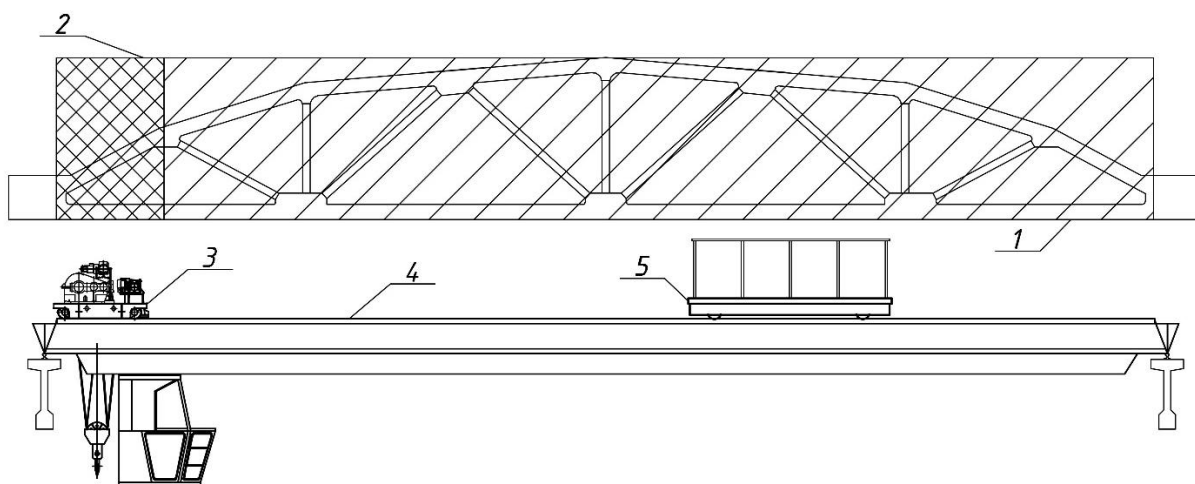


Рис 3.1 План обслуговуючої площадки: 1 – зона можливого виконання робіт з монтажної площадки; 2 – зона обмеження виконання робіт; 3 – вантажний візок; 4 – мостовий кран; 5 – монтажний майданчик;

2.10. Калькуляція витрат праці на монтаж монтажного майданчика:

Таблиця 6

Калькуляція витрат праці на монтаж монтажного майданчика

1.а	Підйом цільної монтажної майданчика автокраном		
1.б	Підйом деталей збірної монтажної майданчика мінікраном		
2.б.1	Збір платформи		
2.б.2	Зварювання платформи		
3.	Перевірка		

3. Організація робіт з монтажної майданчика

3.1. Перед початком використання монтажної майданчика треба забезпечити дані умови:

- Можливість безпечного пересування людей на монтажній майданчику до безпосередньої зони виконання робіт.
- Можливість складання матеріалів, обладнання.

3.2. Забезпечення доступу людей та подачі матеріалів до зони роботи вантажного візка можливе через:

- Існуючий обслуговуючий майданчик мостового крана. Стационарна конструкція, що забезпечує доступ персоналу до мостового крана.

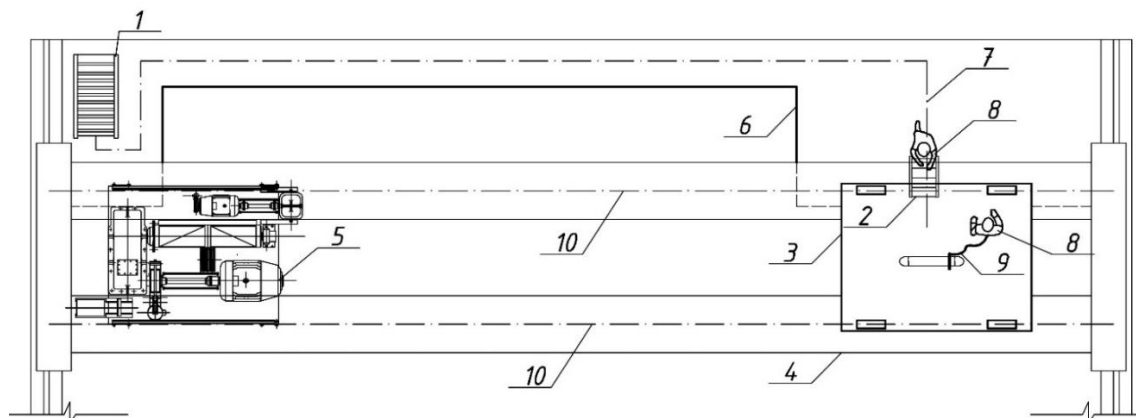


Рис 3.1 План обслуговуючого майданчика: 1 — драбина для доступу до обслуговуючого майданчика мостового крана; 2 — пандус для доступу до монтажної платформи; 3 — монтажна платформа; 4 — мостовий кран; 5 — візок мостового крана; 6 — обслуговуючий майданчик мостового крана; 7 — шлях переміщення людей; 8 — робітники; 9 — система зупинення падіння; 10 — осі руху монтажної платформи та візка мостового крана.

- Тимчасово встановлена обслуговуюча платформа, яка монтується на підкранові конструкції.

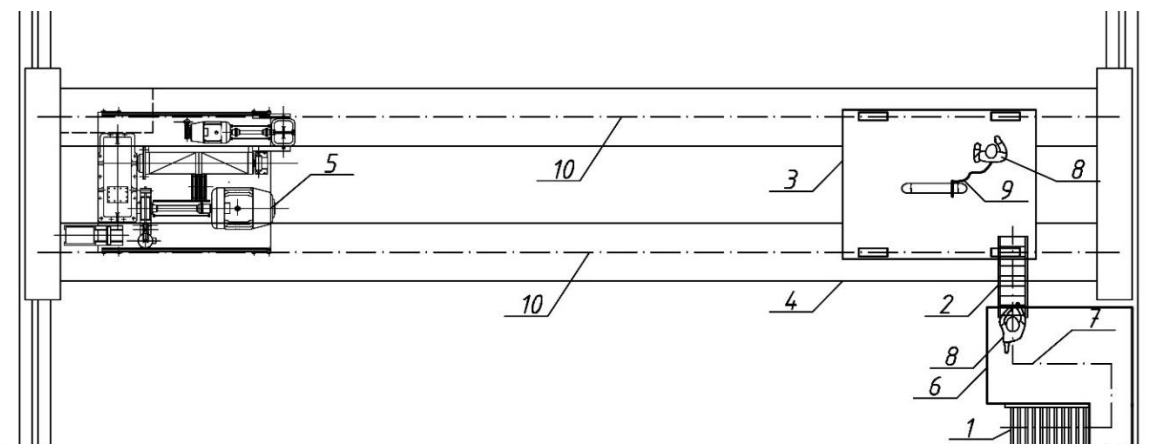


Рис 3.2 План обслуговуючого майданчика: 1 – драбина для доступу до тимчасово влаштованого обслуговуючого майданчика; 2 – пандус для доступу до обслуговуючого майданчика; 3 – монтажна платформа; 4 – мостовий кран; 5 – візок мостового крана; 6 – тимчасово влаштований обслуговуючий майданчик; 7 – шлях переміщення людей; 8 – робітники; 9 – система зупинення падіння; 10 – осі руху монтажної платформи та візка мостового крана.

3.3. Подача матеріалів до зони роботи вантажного візка може здійснюватися через (рис.3.3):

- Існуючий обслуговуючий майданчик мостового крана – стаціонарну конструкцію, на якій тимчасово встановлюють мінікран (поз.1) та використовують як майданчик для короткострокового зберігання інструментів і матеріалів.

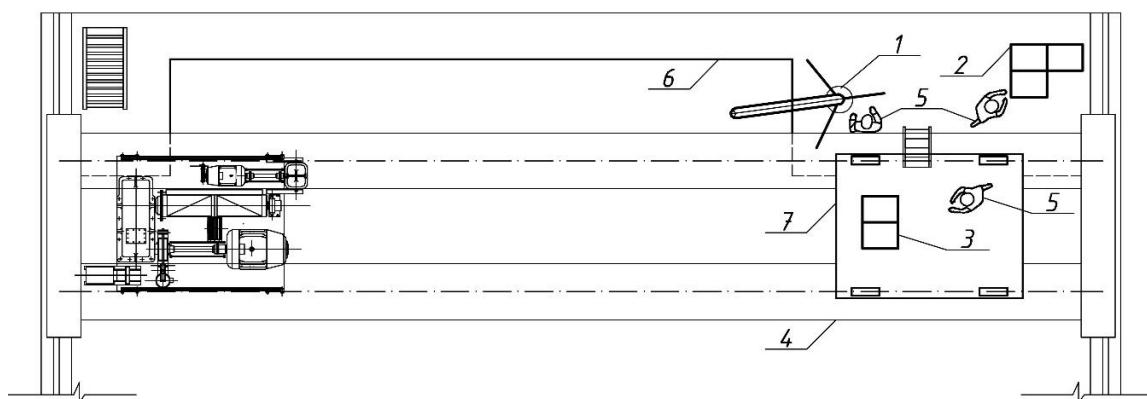


Рис 3.3 План обслуговуючого майданчика: 1 – мінікран для підйому вантажів; 2 – тимчасово складовані матеріали та інструменти; 3 – матеріали та інструменти завантажені на монтажний майданчик; 4 – мостовий кран; 5 – робітники; 6 – обслуговуючий майданчик мостового крана; 7 – монтажний майданчик.

- Автокраном. За можливості роботи крану в існуючих габаритних розмірах будівлі. Можлива подача матеріалів як на монтажний майданчик (рис.3.4), так і на обслуговуючий майданчик крану (рис.3.5).

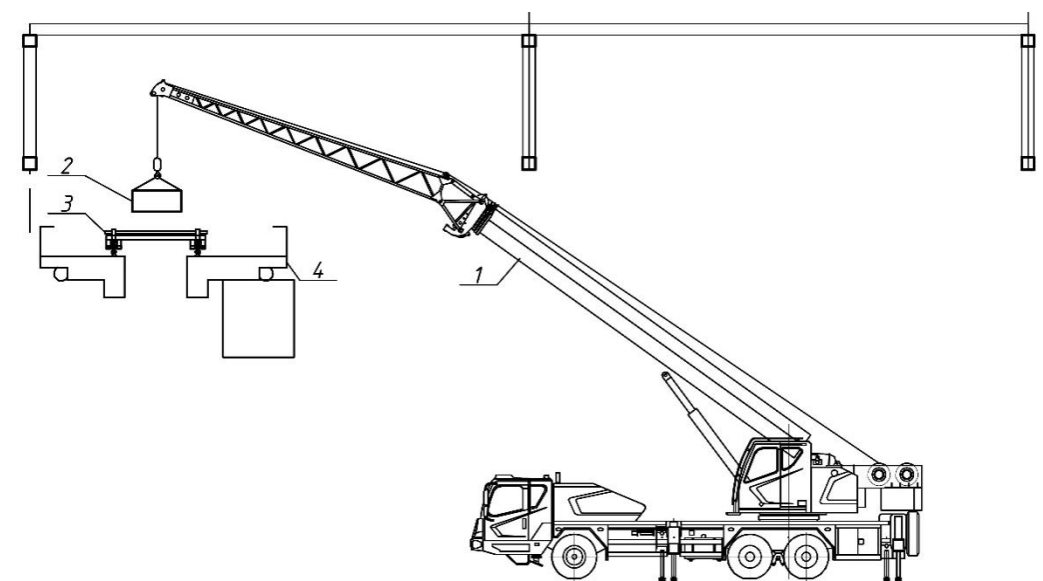


Рис 3.4 Схема підняття вантажів: 1 – автокран; 2 – вантаж, який підіймають; 3 – монтажний майданчик; 4 – мостовий кран.

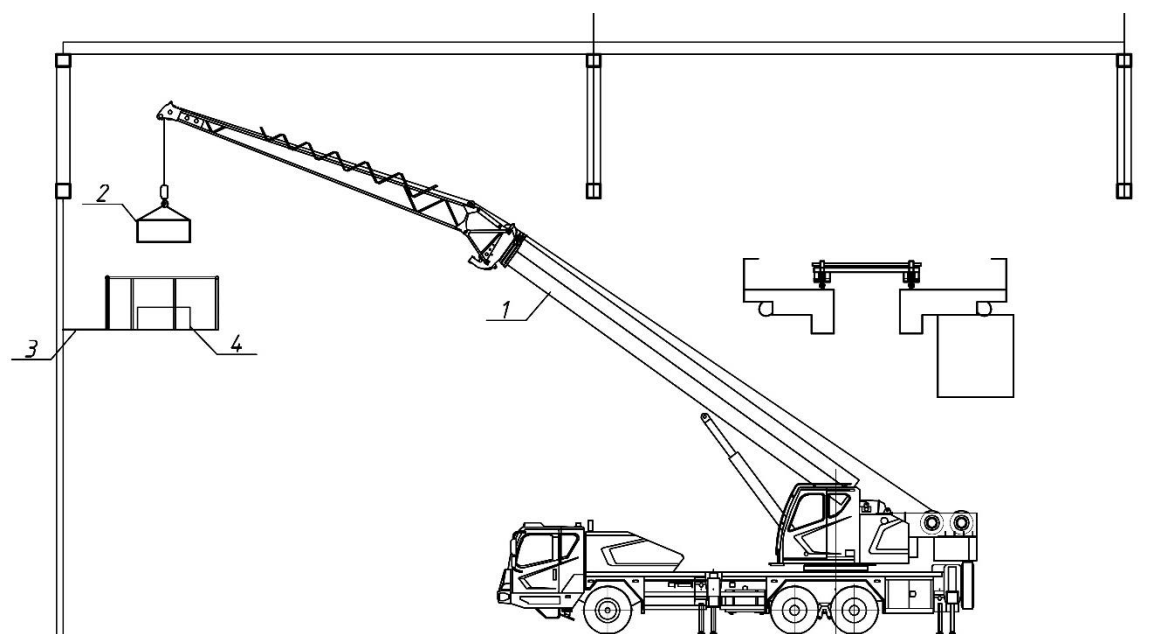


Рис 3.5 Схема підняття вантажів: 1 – автокран; 2 – вантаж, який підіймають; 3 – обслуговуючий майданчик мостового крану; 4 – вантаж піднятий на обслуговуючий майданчик.

3.4. Залежно від виду робіт, робоче місце облаштовується у відповідності до нормативно-правових актів з охорони праці.

3.5. При виконанні будь яких робіт з монтажного майданчика, зокрема бетонувальних, монтажних, малярних та інших робіт, треба притримуватися даних умов:

- Не перевантажувати монтажний майданчик. Згідно розрахунків, максимально можливе точкове навантаження – x кН (для дерев'яного настилу), x кН (для іншого настилу), для рівномірно-розподіленого навантаження – x кН/м², загальне навантаження на платформу не повинно перевищувати $x\%$ від вантажопідйомності мостового крану.

3.6. Зварювальні роботи повинні виконуватися згідно НПАОП 0.00-1.71-13 Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями.

Для забезпечення електрозабезпечення зварювального обладнання виконати роботи з тимчасового прокладання електропроводки для забезпечення електропостачання зварювального апарату на монтажному майданчику згідно з вимогами електробезпеки та чинними нормативними документами.

Приклад схеми наведено на рис 1.4:

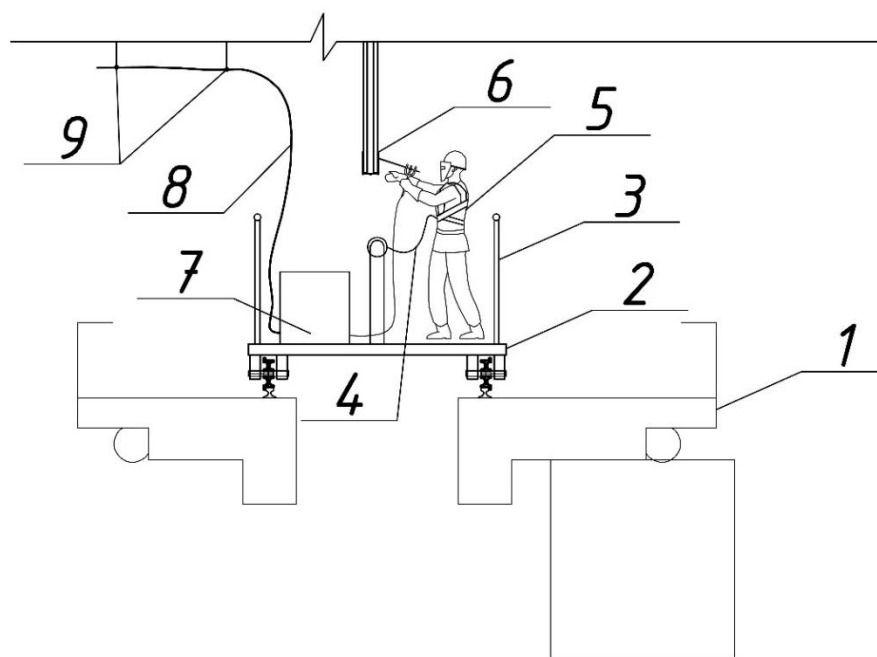


Рис 3.6 Схема виконання зварювальних робіт: 1 – мостовий кран; 2 – монтажний майданчик; 3 – захисне огороження монтажної площадки; 4 – система

зупинення падіння; 5 – зварювальник; 6 – місце зварювання; 7 – зварювальний апарат; 8 - електрозабезпечення зварювального обладнання; 9 – система тимчасово прокладеної електропроводки.

3.7. Бетонувальні, монтажні, малярні та інші роботи виконують з окремо розробленого опціонального робочого місця.

3.8. Піддомкращування кроквяних конструкцій. За умови виконання розрахунку переданої ваги на монтажну платформу можливе часткове розвантаження кроквяних конструкцій для виконання монтажно-ремонтних робіт.

4. Вимоги безпеки і охорони праці, екологічної та пожежної безпеки

4.1. Виконання робіт з монтажного майданчика, має здійснюватися відповідно до чинних інструктивно-методичних документів, що регламентують вимоги охорони праці, безпеки виконання робіт та виробничої санітарії у будівельній галузі.

4.2. Система зупинення падіння для робіт.

4.3. Монтажний майданчик повинна мати рівний настили із зазором між дошками не більше 5 мм, а при розташуванні настилу на висоті 3 м і більше — огороження та бортові елементи. Настил повинен забезпечувати надійне зчеплення з підошвою робочого взуття.

4.4. Не допускати людей під час робіт з майданчику

4.5. Місця для сидіння

4.6. Виконати дерев'яний настил по конструкції мостового крану

4.7. Не давати можливості переміщення людей під час роботи автокрану.

5. Матеріально-технічні ресурси:

Таблиця 7

Матеріально технічні ресурси

Найменування	Вказівки, ДСТУ	Кількість
Цільний монтажний майданчик, 1 шт.		
Монтажний майданчик	За окремо розробленим проєктом	1 шт.
Автокран	-	4 маш. год.
Траверса	-	1 шт.

Зварний монтажний майданчик, 1 шт.		
Деталі монтажного майданчика	За окремо розробленим проектом	1 комплект
Зварювальні матеріали		

ДОДАТОК Є

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у періодичних наукових виданнях інших держав,
які входять до ЄС або ОЕСР*

1. Bozhynskyi M., Zhelezniak V. Scientific foundations for the coordination of organizational-technological and information-management decisions in the system of implementation and recovery of construction projects. *The scientific heritage* (Budapest, Hungary). 2026. № 179 (179). Pp. 72-80. DOI: 10.5281/zenodo.18762606 (*Особистий внесок здобувача*: запропонував інтегрувати організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань у рекурентну модель трансформації інформаційно-управлінських рішень). (*Збірник входить до наукометричної бази Index Copernicus International*).

*Статті у наукових фахових виданнях України категорії «А»,
індексованому в WoS/Scopus*

2. Тугай О.А., Козак А.А., Хохлін Д.О., Божинський М.О. Використання методу скінченних елементів для визначення можливості застосування та удосконалення організаційно-технологічних рішень з локалізації руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Опір матеріалів і теорія споруд/Strength of Materials and Theory of Structures*, 116, 67-79. DOI: 10.32347/2410-2547.2026.116.67-79 (*Особистий внесок здобувача*: розробив сценарії пошкодження та протиаварійного підпирання конструкції багатопролітної залізобетонної ферми, запропонував етапи для проведення розрахунку пошкодженої конструкції багатопролітної залізобетонної ферми. Формування висновків).

Статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б»

3. Григоровський П.Є., Басанський В.О., Григоровський А.П., Божинський М.О. Інформаційне моделювання організаційно-технологічних рішень ліквідації наслідків понадпроектних впливів у будівництві. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Харків, 2023. №100. С. 72-

79. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.100.0.72> (*Особистий внесок здобувача: створення прогнозно-розрахункової моделі будівлі.*)

4. Хохлін, Д. О., & Божинський, М. О. Організаційно-технологічні рішення для запобігання аварійних руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні, на прикладі залізобетонної ферми. *Будівельне виробництво*. Київ, 2023. №76. С. 43-48. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.76.43-48> (*Особистий внесок здобувача: автором було зібрано статистичні дані щодо типів великопролітних залізобетонних конструкцій покриття промислових будівель в Україні. На основі узагальнених результатів візуальних обстежень будівель визначено сценарій найбільш імовірного пошкодження конструкцій. Формування висновків*)

5. Божинський М.О. Реалізація модулів інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення з інтеграцією існуючих баз даних для прискорення прийняття організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №78, С. 132-139. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.78.132-139>

6. Божинський М.О. Оцінювання тривалості сценаріїв ліквідації аварійних руйнувань будівельних конструкцій методом PERT із застосуванням інформаційно-математичної системи оптимізації. *Будівельне виробництво*. Київ, 2024. №79, С. 35-41. DOI: <https://doi.org/10.36750/2524-2555.79.35-41>

7. Божинський М., Гаєва К. Оцінка альтернативних організаційно-технологічних рішень з тимчасового підпирання пошкоджених конструкцій на основі багатокритеріальних методів прийняття рішень. *Шляхи підвищення ефективності будівництва*. Київ, 2025. № 56. Том 1. С.142-149 DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56\(1\).142-149](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2025.56(1).142-149) (*Особистий внесок здобувача: розроблено ієрархічну структуру критеріїв, що охоплює понад сорок параметрів, які характеризують безпеку, вартість, терміни, забезпеченість ресурсами, рівень механізації та логістичні обмеження*).

Наукові праці, що представлені як тези доповіді у міжнародних науково-технічних конференціях:

1. Максименко В. П., Божинський М. О., Григоровський А. П. Оцінка стійкості на закритичні впливи захисної вогневої споруди ВС1 по ПК «ЛІРА-САІР». IV Міжнародна науково-практична конференція «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції» (м. Київ, 26-27 квітня 2023 р.). Київ: КНУБА, 2023. С. 158-159. URL: https://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/31/IV_2023_26.04.23.pdf#page=161.06
2. Божинський М. О. , Бень О. В. Автоматизовані системи моніторингу деформованого стану будівельних конструкцій заглиблених промислових монолітно-каркасних споруд. Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології» (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2023. С. 416. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLflydXwU/view>
3. Тугай О. А., Григоровський П. Є., Божинський М. О. Аналіз основних методів, що застосовуються для ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій збірних залізобетонних каркасів промислових будівель. Міжнародний науково-технічний форум «Архітектура, Дизайн та Будівництво: Інноваційні технології» (м. Київ, 15-16 листопада 2023 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2023. С. 176-177. URL: <https://drive.google.com/file/d/1MtRBPiOTuPp1zPEUphMqLQ-VLflydXwU/view>
4. Тугай О. А., Хохлін Д. О., Божинський М. О. Превентивне підсилення залізобетонної ферми, що має аварійний технічний стан через втрату конструктивного елементу, як складова організаційно-технологічного рішення з ліквідації наслідків такої аварії. *Modern Problems of Science and Technology: Prospects for Further Development: collection of abstracts of the XXXVII International Scientific and Practical Conference* (Bergen, Norway, September 4-6, 2024). Bergen: International Scientific Unity, 2024. С. 14-17. ISBN 978-617-8427-27-6. URL: https://isu-conference.com/wp-content/uploads/2024/09/Modern_problems_of_science_and_technology_prospects_for_further_development_September_4_6_2024_Bergen_Norway.pdf#page=15.00

5. Тугай О. А., Хохлін Д. О., Божинський М. О. Загальна методика дослідження та алгоритми прогнозування показників процесу ліквідації та локалізації розвитку руйнувань внаслідок позапроектних впливів. *Modern Trends in the Development of Economy, Technology and Industry: collection of scientific papers with proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference* (Toronto, Canada, April 9-11, 2025). Toronto: International Scientific Unity, 2025. С. 43–47. DOI: <https://doi.org/10.70286/isu-09.04.2025>. URL: <https://isu-conference.com/en/archive/modern-trends-in-the-development-of-economy-technology-and-industry-09-04-25/>
6. Григоровський П. Є., Басанський В. О., Божинський М. О. Принципи визначення вартості будівельно-монтажних робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, спричинених впливами, не передбаченими при проектуванні. *17-та загальноукраїнська науково-практична конференція «Визначення вартості об'єктів будівництва, проектних, будівельно-монтажних та ремонтно-будівельних робіт із застосуванням сучасних технологій. Управління вартістю життєвого циклу об'єктів – 2025»* (м. Івано-Франківськ, 20–23 травня 2025 р.). Івано-Франківськ, 2025. 2 с. URL: https://ssb-support.s3.eu-west-1.amazonaws.com/Konferenc/2025/ Tezi/ Tezi_IF_202505_Grigorovskij_Basanskij_NDIBV.pdf
7. Божинський М. О., Тугай О. А. Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань за допомогою інформаційно-математичної системи оптимізації підсилення. *Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент: Міжнародний науково-технічний форум* (м. Київ, 24-25 листопада 2025 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. С. 156-157. URL: <https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view>
8. Григоровський П. Є., Іваненко В. О., Бородиня В. В., Божинський М. О., Гаєва К. В. Особливості алгоритму прийняття організаційно-технологічних рішень тимчасового укріплення аварійних об'єктів при обмежених вихідних даних. *Архітектура, Будівництво, Дизайн: Виробництво, Інформатизація, Менеджмент: Міжнародний науково-технічний форум* (м. Київ, 24-25 листопада 2025 р.). Київ: КНУБА; ТОВ «Видавництво Ліра-К», 2025. С. 190-191. URL: <https://drive.google.com/file/d/1h5Zrq3IXNGrt06JuGw2-5oeijf26i8SX/view>

ДОДАТОК Ж



МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ГРОМАД ТА ТЕРИТОРІЙ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
 БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА ІМЕНІ В. С. БАЛИЦЬКОГО» (ДП «НДІБВ»)
 03110, Україна, м. Київ, проспект Валерія Лобановського, 51, тел. (044) 248-88-89; 520-69-50, e-mail: ndibv_post@ukr.net
 код ЄДРПОУ 38283024

03.02.2026

Київ

№ 71/01-11

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційної роботи Божинського М. О. на тему:
 «Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних
 руйнувань конструкцій промислових будівель» у науково-технічній та нормативно-
 методичній діяльності ДП «НДІБВ»**

Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького» підтверджує впровадження результатів дисертаційного дослідження Божинського Михайла Олександровича, виконаного за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія, у науково-технічній, експертно-аналітичній та нормативно-методичній діяльності ДП «НДІБВ».

Результати дисертаційного дослідження були використані під час підготовки аналітичних матеріалів, методичних положень, науково-технічних пропозицій та окремих положень нормативних і нормативно-методичних документів, розроблених за участю ТК 309 «Будтехнології» та ДП «НДІБВ». Зокрема, напрацювання Божинського М. О. були враховані при виконанні комплексної державної науково-дослідної роботи з дослідження та розроблення проєктів двох національних стандартів-настанов щодо технології демонтажу та знесення будівель і споруд та тимчасового укріплення аварійних об'єктів, пошкоджених унаслідок позапроєктних впливів, яка виконувалась Державним підприємством "Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В. С. Балицького" на замовлення Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України (індекс УДК: 69.059, 69:006; державний реєстраційний номер 0124U003109). Науковий внесок Божинського М. О. полягає у розвитку підходів до формування, оцінювання та вибору організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель, зокрема щодо тимчасового підпирання, стабілізації, підсилення та прогнозування тривалості аварійно-відновлювальних робіт в умовах дефіциту вихідних даних, часових і ресурсних обмежень

Зазначені напрацювання забезпечили узгодження положень дисертаційного дослідження з практичними потребами нормативного регулювання у сфері обстеження, організації будівельного виробництва, ремонту, підсилення та відновлення будівельних об'єктів. Вони дозволяють розглядати аварійно-відновлювальні роботи не лише як сукупність окремих технічних заходів, а як взаємопов'язану систему обстеження, оцінювання технічного стану, прогнозування розвитку пошкоджень, тимчасової стабілізації конструкцій, вибору технологічної схеми та організації безпечного виконання робіт.

У діяльності ДП «НДІБВ» результати дослідження Божинського М. О. застосовувалися під час опрацювання матеріалів, пов'язаних з оцінюванням технічного стану будівель і споруд, підготовкою технічних висновків, розробленням рекомендацій щодо протиаварійних заходів, визначенням раціональних способів тимчасового підпирання, підсилення та відновлення пошкоджених конструкцій. Особливе практичне значення мають положення щодо роботи в умовах неповноти вихідних даних, коли остаточне інженерне рішення необхідно приймати з урахуванням результатів попереднього обстеження, розташування пошкоджених елементів, фактичної несучої

здатності конструкцій, можливості безпечного розміщення риштувань, підйомних механізмів, тимчасових опор і монтажних пристроїв.

Використання результатів дисертаційного дослідження сприяло підвищенню обґрунтованості вибору організаційно-технологічних рішень, зменшенню суб'єктивності під час порівняння альтернативних варіантів, упорядкуванню складу вихідної інформації для аварійно-відновлювальних робіт, формуванню системи критеріїв для оцінювання способів тимчасового підпирання та стабілізації конструкцій, а також підвищенню відтворюваності процедури прийняття рішень. Запропоновані підходи можуть бути використаними проектними, експертними, науково-дослідними та аварійно-відновлювальними організаціями під час роботи з пошкодженими промисловими будівлями.

Окреме значення мають результати, пов'язані із застосуванням багатокритеріального оцінювання альтернативних рішень та прогнозуванням тривалості виконання аварійно-відновлювальних робіт. Вони дають змогу зіставляти варіанти тимчасового підпирання, стабілізації, підсилення або відновлення не тільки за технічною доцільністю, а й за сукупністю організаційно-технологічних показників, що є важливим для збірних залізобетонних каркасів промислових будівель за умов аварійного або обмежено безпечного доступу до зони пошкодження.

Результати дисертаційного дослідження Божинського М. О. мають практичну цінність для науково-технічної та нормативно-методичної діяльності ДП «НДІБВ», оскільки можуть застосовуватися під час технічного обстеження, оцінювання технічного стану, розроблення першочергових протиаварійних заходів, підготовки нормативних і нормативно-методичних документів, а також під час наукового супроводу робіт з ліквідації наслідків аварійних руйнувань, відновлення промислових будівель і забезпечення безпеки виконання будівельних робіт.

Заступник директора з
наукової діяльності

Юрій ЧЕРВЯКОВ

Заступник директора з
науково-технічної діяльності

Владислав БАСАНСЬКИЙ



М. П.



Товариство з обмеженою відповідальністю
**«Український інститут сталевих конструкцій
 імені В. М. Шимановського»**
 (ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського»)

Поштова адреса: вул. В. Шимановського, 2/1, Україна, м. Київ, 02125,
 Тел.: (044) 543-93-87; факс: (044) 543-97-69; ел. пошта: niipsk@urdisc.com.ua
 Веб-сайт: <http://urdisc.com.ua>
 Код ЄДРПОУ 36861591

02.04.2026 № 83/01/03/3

На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Товариство з обмеженою відповідальністю «Український інститут сталевих конструкцій імені В. М. Шимановського» підтверджує впровадження результатів дисертаційного дослідження Божинського Михайла Олександровича на тему: «Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель», поданого на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Результати дисертаційного дослідження використано у науково-технічній та виробничій діяльності ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського» під час виконання робіт з обстеження промислових будівель, конструкції яких зазнали пошкоджень унаслідок позапроектних, аварійних або комбінованих впливів. У зв'язку зі стратегічним значенням окремих об'єктів їх найменування, місце розташування та ідентифікаційні ознаки у цій довідці не наводяться.

Божинський М. О. брав безпосередню участь у візуальному та інструментальному обстеженні будівельних конструкцій, фіксації дефектів і пошкоджень, попередньому аналізі технічного стану несучих елементів, визначенні небезпеки подальшого розвитку руйнувань, а також в опрацюванні вихідних даних для прийняття першочергових організаційно-технологічних рішень. Під час зазначених робіт застосовувались положення його дисертаційного дослідження щодо формування альтернативних способів стабілізації пошкоджених конструкцій, вибору технологічної послідовності робіт та оцінювання можливості безпечного доступу до аварійних зон.

Запропоновані автором підходи дали змогу розглядати відновлення пошкоджених промислових будівель не лише як сукупність окремих технічних заходів, а як взаємопов'язаний організаційно-технологічний процес, що включає обстеження, оцінювання технічного стану, вибір способу тимчасової стабілізації, визначення необхідних механізмів і пристроїв, встановлення черговості виконання робіт та перевірку можливості їх реалізації у конкретних виробничих умовах.

Впровадження результатів дисертаційного дослідження сприяло підвищенню обґрунтованості технічних висновків і рекомендацій, скороченню часу попереднього

порівняння можливих організаційно-технологічних рішень під час виконання проєктних робіт, а також більш раціональному використанню наявних механізмів, монтажного обладнання, матеріальних і трудових ресурсів під час робіт з відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель.

Отримані результати підтверджують доцільність подальшого використання розроблених Божинським М. О. організаційно-технологічних підходів у практичній діяльності ТОВ «Укрінсталькон ім. В. М. Шимановського» під час обстеження, оцінювання технічного стану, підготовки рекомендацій щодо тимчасового підпирання, підсилення та відновлення пошкоджених конструкцій промислових будівель.

**Генеральний директор,
член-кореспондент НАН України,
лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки,
заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор**



**Олександр
ШИМАНОВСЬКИЙ**



ТОВ «КДК ІНЖИНІРИНГ»
Код ЄДРПОУ 43537640
вул. Здолбунівська, 3а
Київ, Україна, 02081
info@kdkbud.com.ua

12.02.2026 № 1202/26-07

На № від

ДОВІДКА про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Товариство з обмеженою відповідальністю «КДК ІНЖИНІРИНГ» підтверджує використання у виробничій та інженерно-консультаційній діяльності результатів дисертаційного дослідження Божинського Михайла Олександровича на тему: «Удосконалення організаційно-технологічних рішень з ліквідації наслідків аварійних руйнувань конструкцій промислових будівель» за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія.

Підходи, напрацювання та рекомендації, розроблені автором, були використані під час виконання робіт з технічного обстеження промислових будівель, аналізу пошкоджень несучих і огорожувальних конструкцій, проектуванні та виконанні робіт з відновлення конструкцій будівлі.

Запропоновані організаційно-технологічні рішення з ліквідації наслідків аварійних руйнувань дали змогу враховувати характер і місце знаходження пошкоджень, ризик подальшого розвитку руйнувань, потребу в машинах і механізмах та іншому обладнанні для скорочення тривалості виконання робіт і швидшого відновлення пошкоджених конструкцій.

Розроблені автором положення сприяли підвищенню ефективності прийняття рішень з тимчасового підпирання аварійно небезпечних конструкцій та вибору методу відновлення пошкоджених елементів, що в результаті призвело до скорочення трудовитрат на виконання робіт з відновлення пошкоджених будівель на 6.4%.

Для сучасної практики відновлення промислових будівель, пошкоджених унаслідок аварійних, техногенних, вибухових та інших позапроектних впливів, дисертаційна робота є актуальною та сприяє підвищенню обґрунтованості прийняття інженерних рішень.

Директор
ТОВ «КДК ІНЖИНІРИНГ»



Олександр КУЧЕРОВ