

Факультет інженерії машин, споруд і технологій  
(повна назва факультету)  
**Будівельної механіки**  
(повна назва кафедри)

Тернопіль  
2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій  
(повна назва факультету)  
Кафедра Будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
Ясній В.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)  
« » 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)  
студенту Любовіцькому Данилу Олексійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Відновлення пошкодженої промислової будівлі з дослідженням  
несучих конструкцій.

Керівник роботи Підгурський Микола Іванович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 09 » квітня 2026 року № 4/9-178

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 травня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи Дослідження технічного стану пошкодженої промислової будівлі.  
Розробка пропозицій з посилення несучої здатності, заміни несучих конструкцій та їх частин.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)  
Постановка мети та задач досліджень. Огляд літературних джерел в напрямку досліджень.  
Методика проведення технічного обстеження та аналізу пошкоджених конструкцій.  
Результати проектування та реалізація відновлення. Розробка зміненої конструктивної схеми  
зруйнованих конструкцій. Розробка заходів по охороні праці та заходів з безпеки в  
надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)  
Актуальність роботи. Мета та задачі роботи. Об'єкт та предмет дослідження.  
Аналіз пошкоджень конструкцій. Пропозиції щодо відновлення пошкоджених конструкцій.  
Результати підсилення пошкоджених конструкцій. Розробка зміненої конструктивної схеми  
для відновлення зруйнованих ділянок. Порівняльний аналіз навантажень на каркас будівлі.  
Загальні висновки.

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                           | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                  |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці                    | Каспрук В.Б., к.т.н., доц.                |                |                  |
| Безпека в надзвичайних ситуаціях | Стручок В.С., ст. викл.                   |                |                  |
| Нормоконтроль                    | Мещерякова О.М., ст. викл.                |                |                  |
|                                  |                                           |                |                  |
|                                  |                                           |                |                  |
|                                  |                                           |                |                  |
|                                  |                                           |                |                  |
|                                  |                                           |                |                  |

7. Дата видачі завдання 09 квітня 2026 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Любовіцький Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Підгурський М.І.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>                                                                                                 | <b>5</b>  |
| <b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО<br/>СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ОБ’ЄКТА.....</b>                         | <b>8</b>  |
| 1.1 Методологія проведення технічного обстеження промислових будівель,<br>пошкоджених внаслідок воєнних дій ..... | 8         |
| 1.2 Загальні характеристики будівлі .....                                                                         | 11        |
| 1.3 Аналіз пошкоджень будівельних конструкцій .....                                                               | 13        |
| 1.4 Висновки до розділу 1 .....                                                                                   | 19        |
| <b>РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ З<br/>ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....</b>                | <b>20</b> |
| 2.1 Пропозиції щодо відновлення пошкоджених конструкцій .....                                                     | 20        |
| 2.2 Теоретичні основи реконструкції та підсилення пошкоджених промислових<br>будівель .....                       | 21        |
| 2.2.1 Підсилення залізобетонних колон .....                                                                       | 22        |
| 2.2.2 Підсилення залізобетонних збірних плит покриття .....                                                       | 25        |
| 2.2.3 Підсилення залізобетонних ферм .....                                                                        | 27        |
| 2.3 Результати проектування та реалізація відновлення .....                                                       | 27        |
| 2.4 Висновки до розділу 2 .....                                                                                   | 32        |
| <b>РОЗДІЛ 3 ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ<br/>ЗРУЙНОВАНИХ ПРОЛЬОТІВ .....</b>                                  | <b>33</b> |
| 3.1 Розробка зміненої конструктивної схеми для відновлення зруйнованих<br>ділянок .....                           | 33        |
| 3.2 Статичний розрахунок та підбір перерізів елементів металевої ферми .....                                      | 38        |
| 3.3 Оцінка ефективності запроєктованих рішень та порівняльний аналіз<br>навантажень на каркас будівлі.....        | 43        |
| 3.4 Висновки до розділу 3 .....                                                                                   | 45        |

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>                 | <b>46</b> |
| 4.1 Основні законодавчі та нормативно-правові акти про охорону праці в Україні .....    | 46        |
| 4.2 Організація безпечного виконання робіт при демонтажі будівельних конструкцій .....  | 47        |
| 4.3 Охорона праці та заходи безпеки при монтажі сталевих конструкцій покриття .....     | 50        |
| 4.4 Організація безпеки та захисту персоналу підприємства в умовах воєнного стану ..... | 53        |
| 4.5 Висновки до розділу 4 .....                                                         | 55        |
| <b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>                                                          | <b>56</b> |
| <b>БІБЛІОГРАФІЯ .....</b>                                                               | <b>58</b> |

## ВСТУП

**Актуальність теми роботи.** Проблема відновлення пошкоджених об'єктів промислової та цивільної інфраструктури набула критичної актуальності внаслідок повномасштабного вторгнення в Україну. За даними моніторингових платформ (зокрема «Карти відновлення та руйнувань»), станом на початок 2026 року кількість зафіксованих пошкоджених об'єктів перевищила 20,6 тисяч. У цих умовах розробка ефективних конструктивних рішень для оперативної реконструкції та підсилення будівель, що зазнали деструктивного впливу, є стратегічно важливим завданням для будівельної галузі та економіки країни в цілому.

**Мета роботи:** обґрунтувати можливість відновлення експлуатаційної придатності зруйнованих прольотів виробничого корпусу шляхом впровадження комбінованої конструктивної системи та оцінити ефективність розвантаження існуючого каркаса внаслідок заміни залізобетонних конструкцій на металеві.

Для досягнення мети в роботі ставилися такі задачі:

- встановити конструктивну схему та архітектурно-планувальні рішення пошкодженої ділянки будівлі в прольотах «Є» - «Ж» та «Ж» - «З», що підлягають демонтажу та подальшій реконструкції;
- проаналізувати результати технічного обстеження несучих конструкцій корпусу з виявленням дефектів і пошкоджень IV стану, що унеможливають їх подальше використання у складі традиційної залізобетонної схеми;
- розробити проектне рішення щодо заміни важких залізобетонних ферм 1ФС 24-2 та плит на полегшені сталеві ферми із гнutoзварних профілів та огорожувальні конструкції з сендвіч-панелей;
- виконати статичний розрахунок та чисельне моделювання запроєктованих металевих кроквяних і підкроквяних ферм у програмному комплексі ЛПРА-САПР із підбором оптимальних перерізів профілів;

- провести порівняльний аналіз розрахункових навантажень на основну колону до та після реконструкції для підтвердження можливості безпечної експлуатації пошкодженого каркаса;
- сформулювати рекомендації щодо організації безпечного виконання демонтажних і монтажних робіт, а також заходів цивільного захисту персоналу в умовах воєнного стану.

**Об'єкт дослідження:** пошкоджена частина одноповерхового багатопрольотного виробничого корпусу.

**Предмет дослідження:** технічний стан несучих конструкцій, параметри напружено-деформованого стану каркаса та ефективність впровадження комбінованої конструктивної системи покриття.

**Методи дослідження:** аналіз проектної та технічної документації; візуальне та інструментальне обстеження конструкцій; чисельне моделювання та статичний розрахунок у програмному комплексі ЛІРА-САПР; аналітичне порівняння розрахункових навантажень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана у відповідності із науковою тематикою кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

- обґрунтовано універсальне рішення щодо розвантаження дефектних залізобетонних колон шляхом впровадження легких сталевих систем.
- розроблено методику зниження постійних навантажень на пошкодженій ділянці будівлі, яка є придатною для типізації на аналогічних об'єктах.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати роботи можуть бути використані проектними та експертними організаціями при розробці технічних рішень щодо відновлення промислових будівель, що зазнали значних руйнувань каркаса. Практична значущість полягає у впровадженні алгоритму розвантаження пошкоджених конструкцій, який дозволяє відмовитися від

дороговартісного підсилення конструкцій та скоротити терміни відбудови об'єкта за рахунок використання сучасних полегшених сталевих систем.

**Публікації.** Analysis of the Stress-Strain State of Steel Solid-Web and Perforated I-Beams Used in Pitched Roof Structures / Mykola Pidgurskyi, Ivan Pidgurskyi, Denys Bykiv, Danylo Liubovitskyi, Yurii Rudyak // Scientific Journal of TNTU. — Tern. : TNTU, 2026. — Vol 121. — No 1. — P. 76–87.

**Ключові слова.** ПОШКОДЖЕННЯ БУДІВЛІ, ОБСТЕЖЕННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ БУДІВЛІ, МЕТАЛЕВІ КОНСТРУКЦІЇ, РОЗВАНТАЖЕННЯ КАРКАСА

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ОБ'ЄКТА

#### **1.1 Методологія проведення технічного обстеження промислових будівель, пошкоджених внаслідок воєнних дій**

Технічне обстеження об'єктів промислового призначення, що зазнали впливу засобів ураження, є першочерговим етапом, який визначає можливість їх подальшої безпечної експлуатації або вказує на необхідність проведення реконструкції та підсилення. На відміну від планових оглядів, обстеження пошкодженого промислового об'єкту вимагає врахування специфічних факторів: оцінки впливу вибухової хвилі та вогню на несучі та огорожувальні конструкції.

Обстеження об'єктів, пошкоджених внаслідок збройної агресії, має специфічний алгоритм, що відрізняється від планового моніторингу підвищеною увагою до прихованих дефектів та зміни фізико-хімічних властивостей матеріалів.

Для проведення таких робіт використовувались наступні нормативні документи та матеріали [2-15].

Процес обстеження промислового корпусу поділяється на три ключові етапи:

1. Підготовчий етап. На даній стадії здійснюється детальний збір та систематизація вихідних даних. Аналізу підлягає проектно-технічна документація, результати попередніх інженерно-геологічних вишукувань та звіти про попередні реконструкції. Теоретична значущість цього етапу полягає у відтворенні розрахункової схеми будівлі та виявленні найбільш навантажених вузлів (наприклад, спряження великопрольотних ферм із колонами), які можуть стати критичними точками руйнування при аварійному впливі. Це дозволяє оптимізувати обсяги натурних вимірювань та зосередити увагу на вузлах, втрата несучої здатності яких є найбільш критичною для загальної стійкості промислового корпусу.

2. Попереднє (візуальне) обстеження. Метою даного етапу є здійснення суцільного візуального моніторингу конструктивної системи виробничого корпусу для встановлення ступеня деструкції, виявлення зон критичних пошкоджень та визначення ділянок, що створюють загрозу раптового руйнування. Візуальний аналіз базується на зіставленні фактичного стану елементів каркасу із проектними параметрами (згідно з серіями КЕ-01-52 та ПК-01-129/78), що дозволяє класифікувати пошкодження за морфологічними ознаками та напрямками силових впливів вибухової хвилі.

Для великопрольотних промислових корпусів візуальний аналіз приділяється наступним пунктам технічного моніторингу:

- геометрична цілісність плит покриття (фіксація повної або часткової відсутності залізобетонних плит покриття, спричиненої прямим влучанням або дією надлишкового тиску вибухової хвилі);
- деформації кроквяних систем (візуальне виявлення прогинів, викривлень або скручувань нижніх та верхніх поясів залізобетонних сегментних ферм, а також порушення вертикальності їх розташування);
- стан опорних вузлів «ферма-колона» (огляд зон обпирання ферм на оголовки двовіткових колон для виявлення зміщень, розривів анкерних в'язей та сколів опорних консолей);
- температурна деструкція залізобетону (ідентифікація ділянок із характерною зміною кольору бетону, що свідчить про глибоку дегідратацію цементного каменя внаслідок тривалої пожежі);
- оголення робочого армування (фіксація ділянок із відшаруванням захисного шару бетону, що призвело до оголення та прямої корозії або термічного відпуску арматурних каркасів у розтягнутих елементах ферм та колонах);
- дефекти фахверкових конструкцій (огляд допоміжних металевих колон та ригелів фахверку на предмет залишкових пластичних деформацій, вигинів та порушення зварних з'єднань);

- тріщиноутворення в несучих елементах (фіксація силових тріщин у колонах, спричинених динамічним ударом та перерозподілом зусиль після руйнування суміжних прольотів);
- стан огорожувальних конструкцій (аналіз цілісності цегляних пустотілих перегородок та самонесучих зовнішніх стін, виявлення тріщин розриву в місцях їх примикання до несучого каркасу);
- пошкодження ліхтарних надбудов та скління (оцінка стану металоконструкцій Zenitних ліхтарів, наявність небезпечних фрагментів скла та пошкодження механізмів відкривання, що впливає на герметичність та навантаження на покрівлю).

3. Детальне (інструментальне) обстеження. Перехід до даного етапу обстеження зумовлений необхідністю отримання кількісних характеристик міцності та деформативності матеріалів, що є критично важливим для перевірних розрахунків і вибору методик підсилення. На відміну від візуального етапу, інструментальна діагностика дозволяє виявити приховані дефекти, спричинені динамічною дією вибухової хвилі та термічною деструкцією елементів каркасу.

Враховуючи специфіку об'єкта, застосовуються такі методи:

- аналіз фізико-хімічної деградації в зонах пожежі - проводиться дослідження крихкості бетону та змін у кристалічній решітці металу на ділянках, що піддавалися високотемпературному впливу;
- динамічні випробування та вібраційний аналіз - для конструкцій, що мають внутрішні розриви армування, при яких оцінюється зміна частот власних коливань, що є непрямым показником втрати жорсткості та надійності системи;
- ультразвуковий метод та метод ударного імпульсу - для визначення фактичної міцності бетону вцілілих колон, на які планується опирати нову металеву систему покриття;
- електромагнітний метод - для уточнення розташування арматури та товщини захисного шару бетону в пошкоджених елементах;
- геодезичні вимірювання - для перевірки вертикальності колон та можливих надлишкових прогинів несучих конструкцій.

За результатами комплексу діагностичних процедур об'єкт (або його окремі конструктивні елементи) класифікується згідно з [3] за категоріями технічного стану:

- категорія I (нормальний стан): конструкції повністю відповідають проектним вимогам;
- категорія II (задовільний стан): наявні незначні дефекти, що не впливають на безпеку;
- категорія III (непридатний до нормальної експлуатації): елементи вимагають підсилення або капітального ремонту через зниження несучої здатності;
- категорія IV (аварійний стан): виявлено вичерпання несучої здатності, що створює загрозу руйнування. Такі конструкції підлягають безумовному демонтажу або негайному розвантаженню.

Дана теоретична база дозволяє обґрунтовано підходити до вибору інженерних рішень щодо відновлення конструкцій, мінімізуючи статичні навантаження на існуючий каркас шляхом впровадження полегшених систем покриття та сучасних методів підсилення.

## **1.2 Загальні характеристики будівлі**

Об'єктом дослідження у даній роботі є частина одноповерхового багатопрольотного виробничого корпусу. Будівля перебуває у процесі відновлення після значних пошкоджень 13.05.2023р (рис. 1.1), завданих ракетним ударом.

Роботи з відновлення, підсилення та заміни несучих та огорожувальних конструкцій на зруйнованих ділянках виробничих приміщень ведуться в прольотах «Є» - «Ж», «Ж» - «З».

Досліджувана частина корпусу є типовою промисловою спорудою, що була запроектована як об'єкт машинобудування. Будівля має прямокутну форму в плані та складається з кількох паралельних прольотів.



Рисунок 1.1 - Виробний корпус після ракетного удару

Основні геометричні характеристики: прольоти - 24 м, крок основних колон - 12 м, висота до низу несучих конструкцій покриття: згідно з типовими серіями для великих цехів (близько 12-14 м). Будівля відноситься до 5-го району за сніговим навантаженням ( $S_0=1400$  Па) та 4-району за вітровим навантаженням ( $W_0=550$  Па) згідно [4]. Розрахункова сейсмічність - 6 балів згідно [11]. Категорія ґрунтів майданчика за сейсмічними властивостями - II (друга). Рівень відповідальності будівлі - II (друга). Вогнестійкість об'єкта після відновлення-ІІА згідно [12].

Клас наслідків (відповідальності) розглянутої частини виробничого корпусу - СС2, категорія складності об'єкта - IV, визначені на підставі положень [13-14]. Розрахунок виконано з урахуванням вимог [3] щодо забезпечення надійності будівельних конструкцій у процесі експлуатації та відновлення.

Конструктивна схема будівлі - каркасна змішаного типу, виконана із застосуванням збірних залізобетонних елементів за типовими серіями, що були масовими у промисловому будівництві другої половини XX століття:

- фундаменти - стовпчасті залізобетонні стаканного типу, закладені на глибину згідно з інженерно-геологічними умовами майданчика;
- колони - збірні залізобетонні двовіткові та одновіткові решітчастого типу (серія КЕ-01-52). Колони жорстко защемлені у фундаментах і обладнані консолями для обпирання підкранових балок та кроквяних конструкцій;
- кроквяні конструкції - залізобетонні сегментні розкісні ферми прольотом 24 м (тип 1ФС 24-2 за серією ПК-01-129/78). Ферми встановлені з кроком 12 м на оголовки колон;
- покриття - збірні залізобетонні ребристі плити розміром 3х12 м та 1.5х12 м. Плити передають снігове навантаження на верхні пояси ферм та жорстко скріплюють конструкцію;
- стінове огороження - виконане з керамічних пустотілих блоків та самонесучих панелей. У зонах руйнувань спостерігається втрата стійкості перегородок та стін фахверку.

### **1.3 Аналіз пошкоджень будівельних конструкцій**

Обстежувані зруйновані ділянки зосереджені у двох прольотах шириною 24м: «Ж»-«З» (в осях «9»-«17», довжиною 96 м) та «Є»-«Ж» (в осях «15»-«17», довжиною 24 м) (рис. 1.2).

Несуча схема будівлі представлена рядами залізобетонних двовіткових та одновіткових решітчастих колон із кроком 12 м (серія КЕ-01-52, переріз 1300х500 мм). Каркас об'єднаний сегментними розкісними фермами 1ФС 24-2 прольотом 24 м (серія ПК-01-129/78, вип. 4) та залізобетонними підкрановими балками (серія 1.426.1-4, вип. 1). Внаслідок вибуху та пожежі було частково або повністю зруйновано 5 ферм (4 та 1 відповідно у різних прольотах).

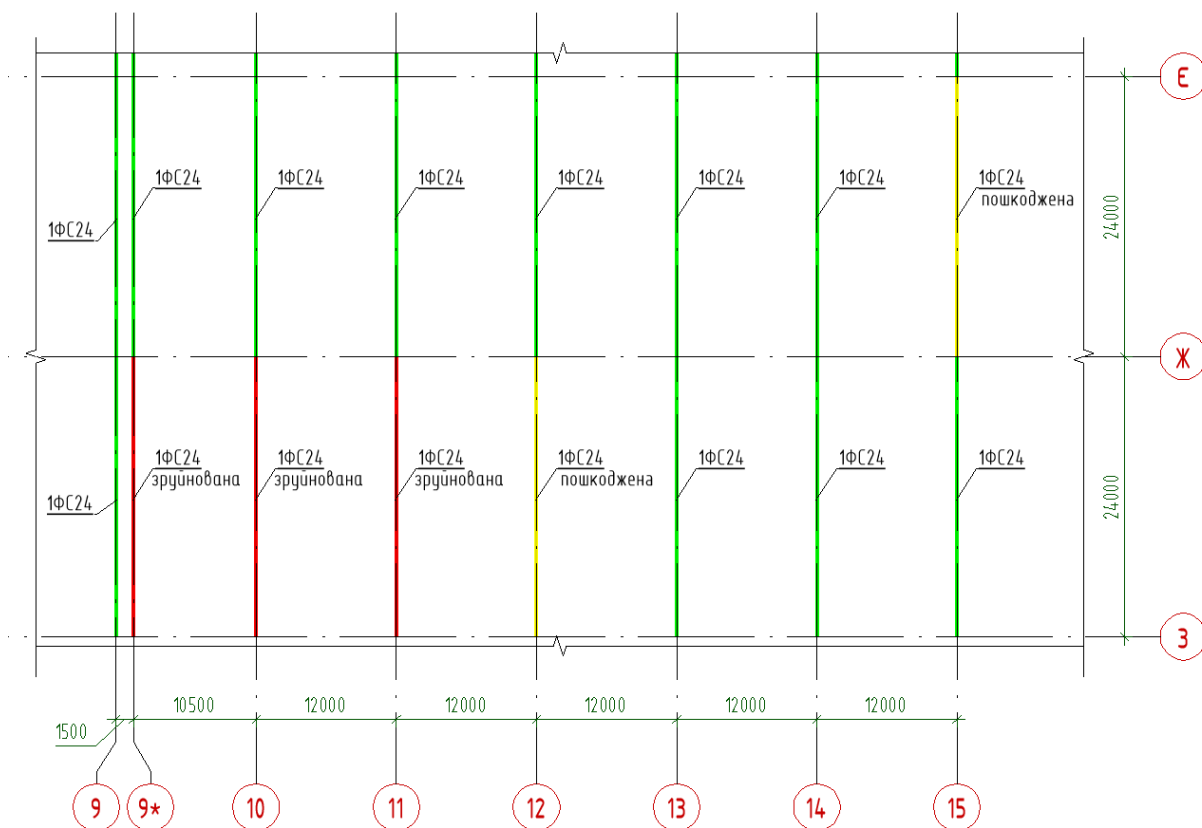


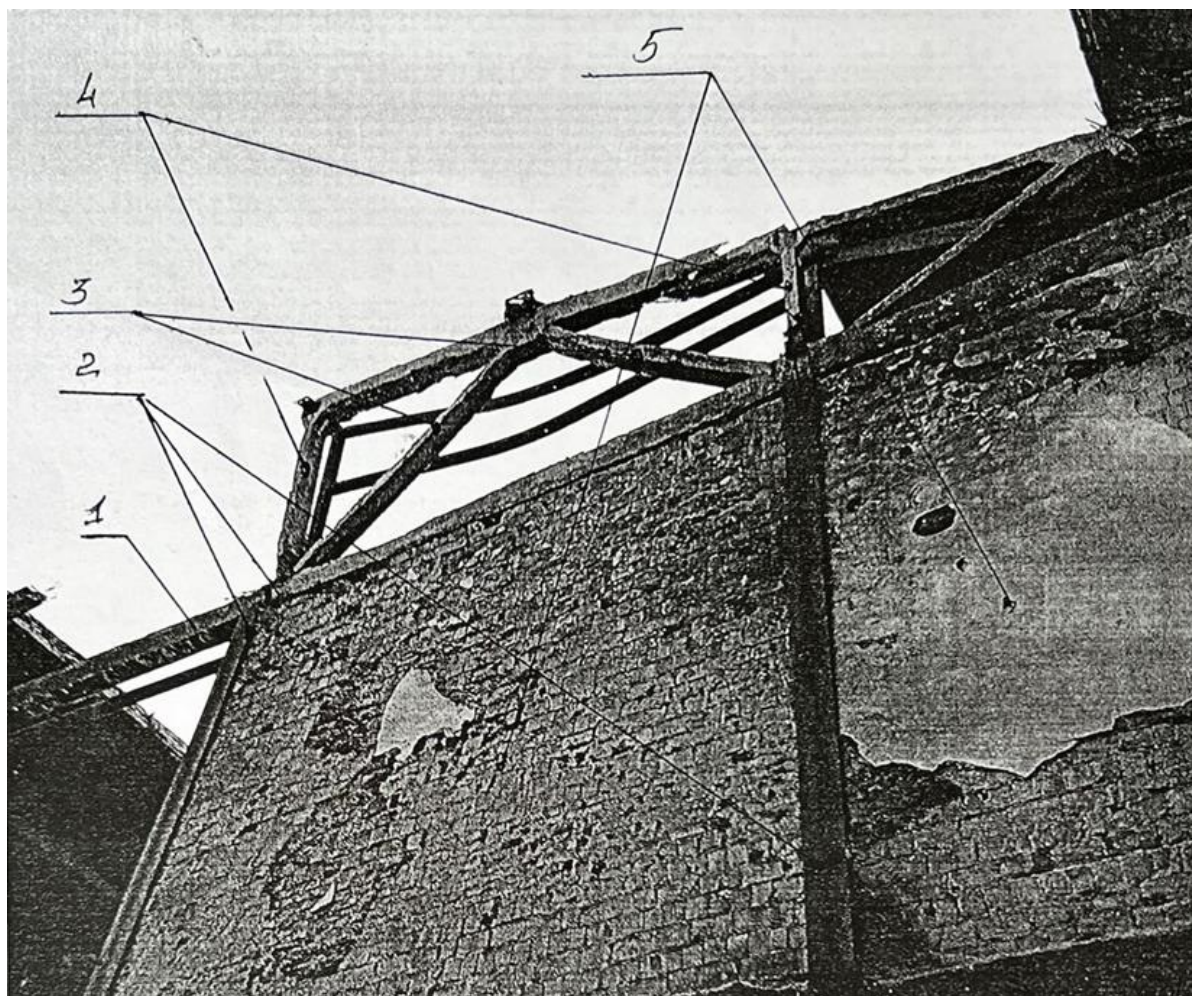
Рисунок 1.2 - План пошкоджень кроквяних конструкцій виробничого корпусу в прольотах «Є»-«Ж» та «Ж»-«З» в осях «9»-«15»

Просторова жорсткість будівлі знижена внаслідок ударних та температурних впливів на залізобетонний каркас та покриття, а також горизонтальні та вертикальні металеві в'язі, підкранові балки, елементи стінового огороження. В основу виконаних розрахунків та креслень покладено вибір економічних варіантів підсилення на основі максимально можливого зменшення статичних навантажень та мінімізації затрат на відновлення будівлі.

Внутрішні поперечні стінові заповнення ділянками в осях «Є», «Ж», «З», вздовж осі «15» по фахверкових металевих зварних колонах кроком 6,0м. - цегляні з цегляних блоків керамічних пустотілих.

В осях «Ж» - «З» від вибуху між рядами колон «9» - «12» від загорянь і тривалої (до 18 годин), високотемпературної пожежі знищені 3 ферми, та ще одна ферма мають теплові пошкодження з порушенням геометричних форм.

Аналогічно в осях «Є» - «Ж» від вибуху в ряді колон по осі «15» від загорянь і високотемпературної пожежі зруйновано верхній пояс , підкоси та частково-стойки ферми, Її нижній пояс працює як балка (рис. 1.3), мале січення в поєднанні з тепловими пошкодженнями та порушенням геометричних форм не забезпечить несучу здатність для навантажень від покриття).



1 - нижній пояс вцілів і працює як балка; 2 - заплановано підсилення за рахунок колон зварних металевих; 3 - заплановано улаштування обойм підкосів; 4 - заплановано улаштування обойм стійок; 5 - заплановано зміцнення існуючих ділянок керамзитоблокової стіни.

Рисунок 1.3 - Пошкоджена ферма по осі "15" прольоту "Є" - "Ж"

В прольоті «Є» - «Ж», по залізобетонних сегментних фермах змонтовані збірні залізобетонні плити покриття утеплені ИП1 3х12 (серія ИИ24-1/70 заводського виготовлення). Через втрату достатньої несучої здатності ферми відбулось падіння плит покриття в осях «15» - «16».

Обстеження показують, що ферми (рис. 1.4.) та плити покриття в місцях тривалого горіння майна з інтенсивним тепловиділенням, мають знижену міцність та надійність конструкцій із погіршення міцнісних характеристик металу та бетону. Зросла крихкість бетону від вигорання цементних (кальцієвих) сполук. Структурні зміни бетону і металу (набула крихкість в'язкості армувань) ускладнили демонтажні роботи (особливо ребристих плит перекриття) і, в окремих випадках, призвели до їх саморуйнування при демонтажі навіть при застосуванні демонтажних пристосувань.

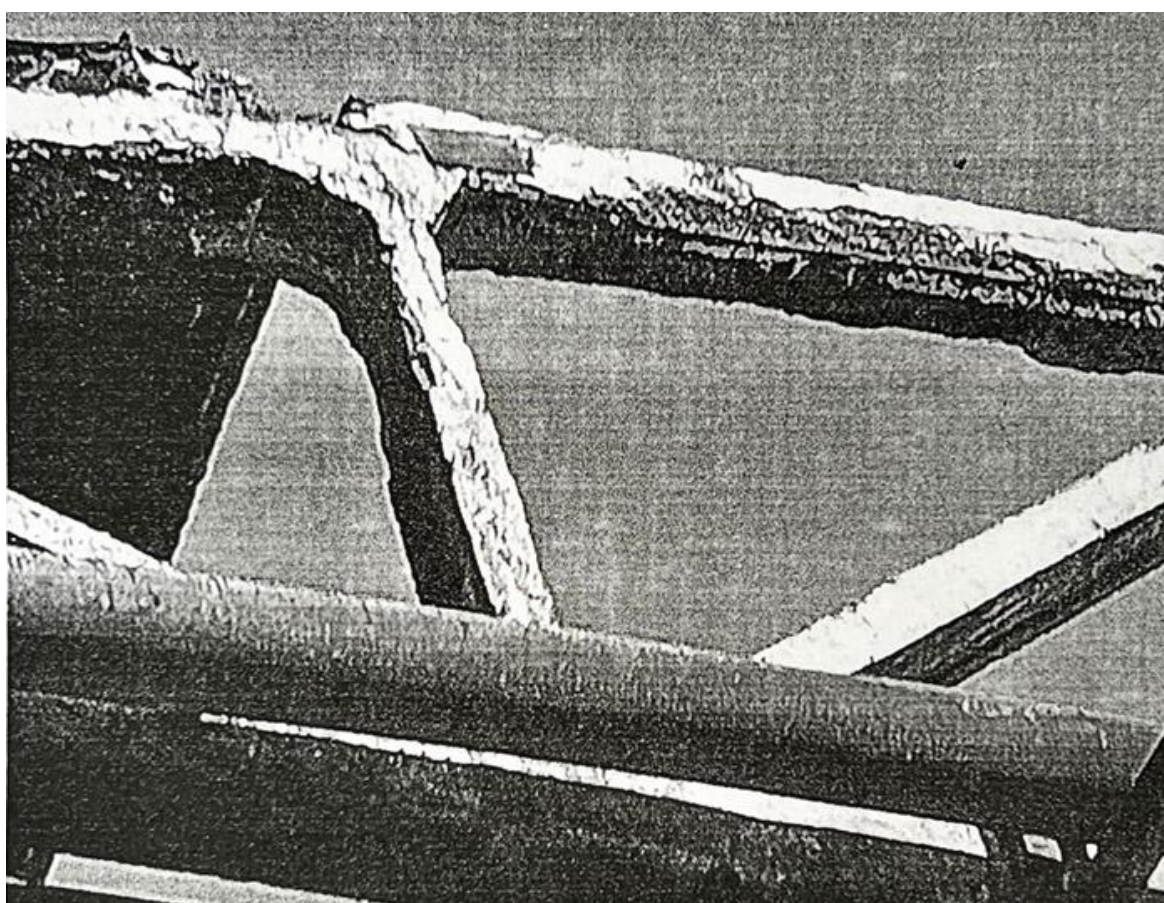


Рисунок 1.4 – Пошкоджена залізобетонна ферма

Рулонна покрівля по цементно-піщаній стяжці суміщена з покриттям та утеплювачем вимагає капремонту з врахуванням формування водовідводу, поєднаного з нововлаштовуваними ділянками покриття в рівнях, що забезпечать повний відвід атмосферних вод у внутрішній водостік на розглянутій ділянці, який знищений і вимагає відновлення.

При вибіркового обстеженні наближених до вибухів частин будівлі прольоту «Е»-«Д» та суміжної, доліхтарної частини, прольоту «Е»-«Є» в осях «5» - «8»), виявлено в наближених осях і прольотах тріщини, прогини, деформації, відхилення від робочих положень плит, інші пошкодження конструкцій покриття.

Такі ділянки підлягатимуть щорічному плановому огляду та позаплановим оглядам при збільшенні потужностей об'єкта, зростанні динамічних навантажень, тощо.

Тривала дія високих температур призвела до погіршення міцнісних характеристик:

- металу (армування та металоконструкції втратили розрахункову міцність внаслідок структурних змін у кристалічних решітках сталі);
- бетону (спостерігається підвищена крихкість бетону через вигорання цементних (кальцієвих) сполук. Набута в'язкість армування та крихкість бетону значно ускладнили демонтаж тонкостінних плит, спричиняючи їх раптове руйнування).

Фотофіксація місць виявлених дефектів наведена на рисунках 1.3 - 1.6.



Рисунок 1.5 - Пошкоджений ліхтар



Рисунок 1.6 - Загальний вид руйнування прольотів «Є» - «Ж» та «Ж» - «З»

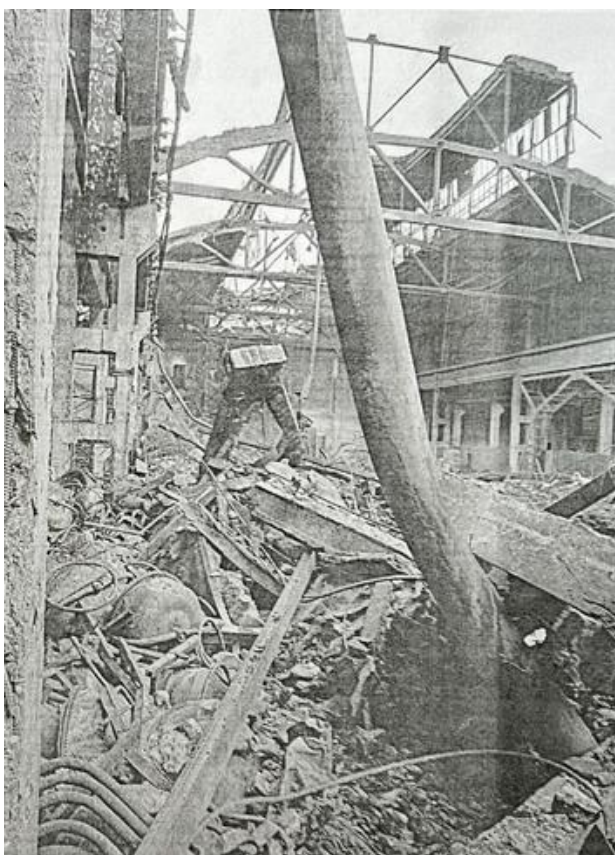


Рисунок 1.7 - Загальний вид руйнування прольотів «Є» - «Ж» та «Ж» - «З»

#### **1.4 Висновки до розділу 1**

1. Описано методологію та алгоритм проведення технічного обстеження промислового об'єкта, пошкодженого внаслідок воєнних дій, згідно з чинними нормативними документами України.

2. Розглянуто конструктивні характеристики та розрахункові параметри виробничого корпусу.

3. Проаналізовано характер пошкоджень несучих конструкцій, що виникли внаслідок вибухової хвилі та тривалого термічного впливу, а також визначено їх технічний стан для подальшого відновлення.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДОЛОГІЯ ТА КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ З ПІДСИЛЕННЯ ПОШКОДЖЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ

#### 2.1 Пропозиції щодо відновлення пошкоджених конструкцій

На основі результатів технічного обстеження та аналізу пошкоджень, з метою відновлення експлуатаційної придатності виробничого корпусу та забезпечення його надійної роботи, пропонуються наступні комплексні рішення:

- для відновлення несучої здатності основних колон (серія KE-01-52) передбачено двоетапне підсилення: спочатку монтується металеві стояки із двох швелерів, зварених в короб, що дозволяє колоні виконувати свої функції. На другому етапі виконується додаткове армування стержнями з подальшим бетонуванням залізобетонної обойми для підсилення колони;

- для забезпечення надійного обпирання нових конструкцій ферм передбачено відновлення частково зруйнованих та нарощування зруйнованих залізобетонних оголовків колон. Роботи включають очищення існуючої арматури, встановлення додаткових поздовжніх стержнів, влаштування арматурних сіток та подальше бетонування;

- пошкоджені недемонтовані плити підсилюються згідно робочих креслень з попередньою очисткою. Рекомендовано огородити небезпечні зони та виконати демонтаж (підсилення) аварійних плит з використанням для цього підкранових балок, нижніх несучих балок ліхтарів після їх перевірки, інше;

- для обов'язкового демонтажу частин стоек, підкосів, підрізання колони, плит, тощо використати автовишки або звести риштування для відбивання відшарованих бетонних уламків та влаштування зварних підсилень конструкцій, оббетонування, тощо;

- вирішено підсилити стіну з керамічних пустотілих блоків та ферму, що розташована по осі «15» прольоту «Є» - «Ж»;

- усунути температурні деформації металевого зварного двотавра-фахверка (36x22 з товщиною смуги 16мм) прольотах «Є» - «Ж» по осі «15»;

- Відновити пошкоджені ферми та виготовити нові ферми, які були зруйновані.

## **2.2 Теоретичні основи реконструкції та підсилення пошкоджених промислових будівель**

Теперішній стан економічного розвитку та стрімкий науково-технічний прогрес диктують потребу в оперативній модернізації виробничих потужностей через інтеграцію передових технологічних рішень. Практика експлуатації промислових об'єктів демонструє, що оновлення технологій та технічне переоснащення в галузі машинобудування здійснюється орієнтовно кожні 10–12 років. Подібні перетворення зазвичай зумовлюють підвищення експлуатаційних вимог до несучих систем, що вимагає реорганізації цехового простору, зведення додаткових споруд або прокладання нових інженерних мереж.

Науково-методологічне підтвердження доцільності перебудови ґрунтується на зіставленні показників технічного та морального зношення споруди. Попри те, що розрахунковий вік служби капітальних індустріальних будівель досягає 100–120 років, непередбачені проектом чинники та недотримання правил експлуатації нерідко викликають втрату несучої здатності елементів конструкції передчасно. Фінансова доцільність реновації вважається виправданою, якщо кошторис відновлювальних заходів утримується в межах 70% від фінансування аналогічного нового будівництва. Водночас інвестиції в оновлення об'єкта повертаються на 20–25% швидше порівняно зі спорудженням з нуля [33].

Розрахунково-проектні роботи для відновлення спираються на методологію граничних станів. Статичні й динамічні розрахунки реалізують за математичними моделями, які відтворюють фактичний стан деформованого або пошкодженого каркасу будівлі. При цьому враховуються постійні, тривалі, короточасні та особливі навантаження відповідно до вимог регламентів [4].

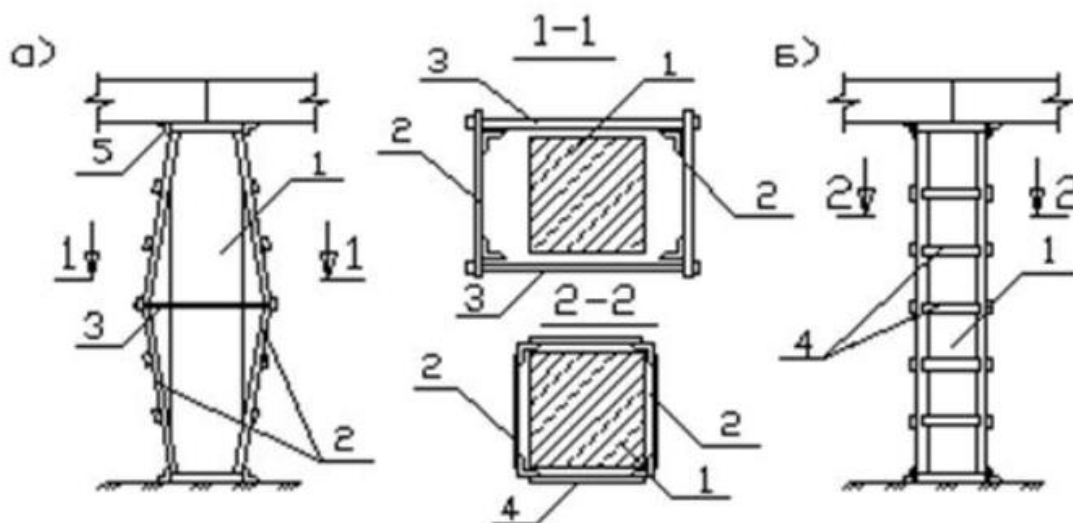
Втілення плану щодо відновлення життєвого циклу споруди вимагає системного підходу, що передбачає зміцнення наявних конструкцій паралельно із

впровадженням полегшених інженерних компонентів. Головна мета проектних рішень полягає у формуванні стійкої просторової системи, спроможної витримувати змінені робочі навантаження.

Результативність заходів із модифікації конструкцій зумовлена виваженим підбором будівельних матеріалів. Для посилення металевих вузлів традиційно застосовують фасонний та листовий прокат (зокрема марок С235, С255). У випадку влаштування залізобетонних сорочок чи обойм використовують бетонні суміші класу міцності від С15/17 і вище, а також арматуру класів А400 та А500. Разом з тим, сучасний підхід до реконструкції активно залучає інноваційні полімерні композитні матеріали, завдяки яким вдасться уникнути суттєвого перевантаження споруди, забезпечуючи високі міцнісні характеристики оновленої конструкції.

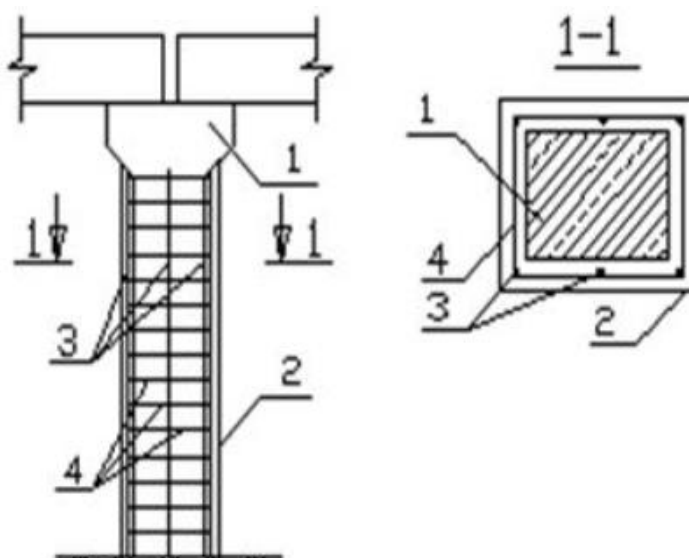
### 2.2.1 Підсилення залізобетонних колон

Підсилення залізобетонних колон проводиться шляхом влаштування обойм. Обойми для колон бувають металевими (рис. 2.1) та залізобетонними (рис. 2.2).



а - в період монтажу; б - проектне положення; 1 - колона; 2 - розпірки із кутиків та планок; 3 - натяжні монтажні болти; 4 - з'єднувальні планки, що приварюються після установки розпірок; 5 - упорні елементи.

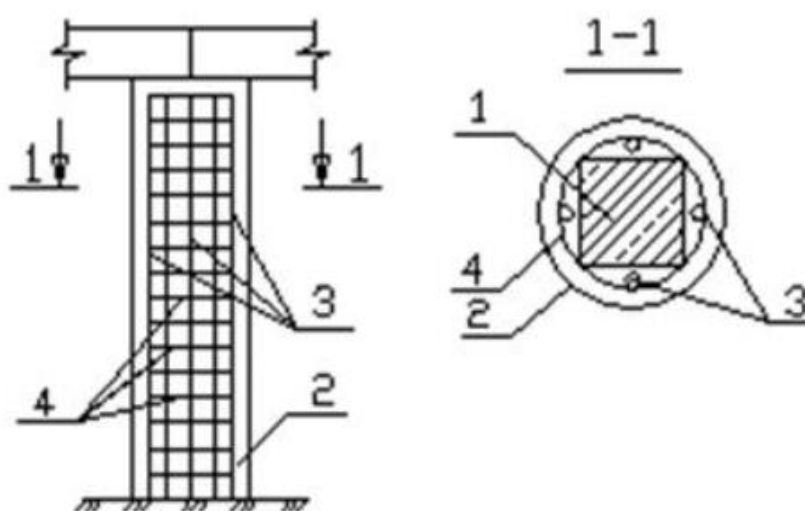
Рисунок 2.1 - Підсилення колони металевою обоймою



1 - колона; 2 - бетон; 3 - поздовжня арматура; 4 - хомути.

Рисунок 2.2 - Підсилення колони залізобетонною обоймою

Ці обойми зміцнюють наявну конструкцію, переймаючи стискальні навантаження як прямим шляхом, так і за рахунок обмеження поперечних деформацій. Навпаки, непряме армування (зокрема, спіральною арматурою) (рис. 2.3) орієнтоване лише на мінімізацію бічних деформацій бетону, оскільки через низьку жорсткість на стискання подібні елементи не здатні безпосередньо витримувати поздовжні зусилля.



1 - колона; 2 - шар бетону; 3 - поздовжня арматура малого діаметра; 4 - поперечна непряма арматура обойми.

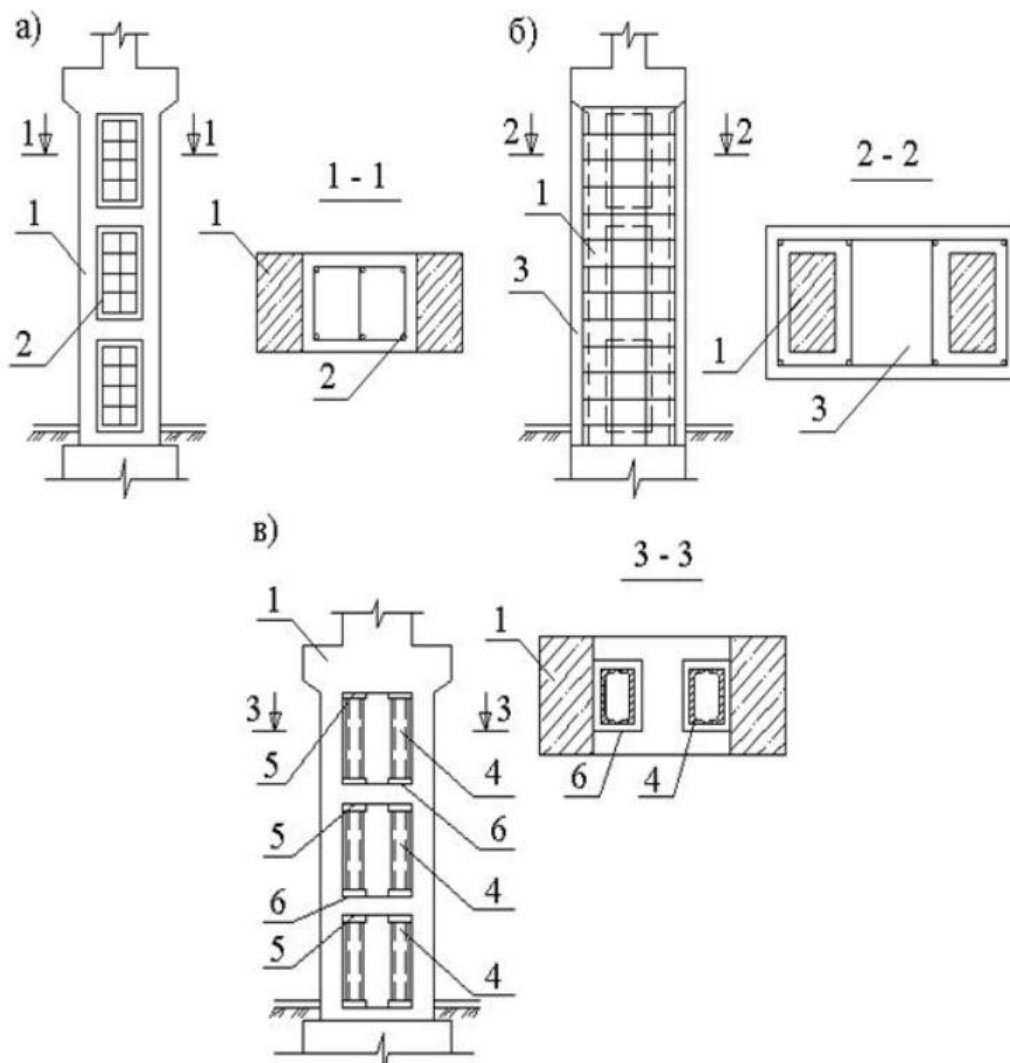
### Рисунок 2.3 - Непряме армування залізобетонної колони

У той час як металеві обойми обов'язково мають повністю замикати контур перерізу, залізобетонні аналоги допускається монтувати як по всьому периметру (з чотирьох боків), так і частково — охоплюючи три, дві або навіть одну грань стовпа. Міцне зчеплення між старим та новим бетоном гарантується чітким дотриманням будівельного регламенту, а саме нанесенням насічок на контактну поверхню, видаленням залишків пошкодженого матеріалу й пилу, зволоженням основи приблизно за 60–90 хвилин до початку бетонування, акуратним розподілом та віброущільненням суміші, а також правильним витримуванням моноліту під час набору міцності задля уникнення появи усадкових дефектів.

У разі підсилення колон залізобетонними сорочками зусилля на додаткові стрижні та бетон перерозподіляються за рахунок сил зчеплення між контактними шарами матеріалу. Навпаки, щоб сталеві обойми включились в роботу їх конструктивно виконують попередньо напруженими. Ефект натягу в поздовжніх кутиках створюється шляхом використання початково вигнутих елементів розпірок (двох кутиків, з'єднаних планками), геометрія перелому яких встановлюється обчисленнями. Ці компоненти жорстко фіксуються, зазвичай за допомогою зварювання в зонах обпирання (рис. 2.1, а), після чого стяжними болтами випрямляються до лінійного стану. Саме у такій позиції вони напружуються, починаючи повноцінно працювати на поздовжнє стискання, після чого виконується остаточне зварювання всіх сполучних поперечних планок (рис. 2.1, б).

Підсилення компонентів двовіткових колон (стійок, перемичок) виконується за тими ж принципами, що й для суцільних елементів, зокрема через монтаж залізобетонних або сталевих сорочок. Водночас для конструкцій такого типу існують особливі підходи, серед яких: замонолічування внутрішніх отворів залізобетоном (рис. 2.4, а), створення суцільної залізобетонної обойми в підкрановій зоні із одночасним заповненням простору між вітками (рис. 2.4, б), а

також інтеграція додаткових розвантажувальних стійок у прорізи підкранової частини колони (рис. 2.4, в).



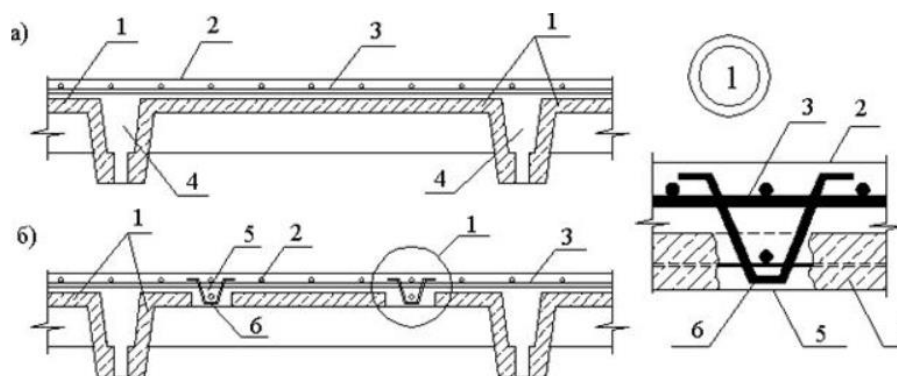
а – заповнення отворів залізобетоном; б – улаштування залізобетонної обойми з заповненням простору між вітками; в – встановлення розвантажувальних стійок в прорізи; 1 - колона, що підсилюється; 2 - залізобетонне заповнення порожнини; 3 - залізобетонна обойма з заповненням отворів у колоні; 4 - розвантажуючі стійки; 5 - пластини-клинці; 6 - опорні пластини.

Рисунок 2.4 - Підсилення двовіткових колон

### 2.2.2 Підсилення залізобетонних збірних плит покриття

Модифікація збірних залізобетонних ребристих плит виконується окремо для кожного конструктивного елемента: поличка, поперечні і поздовжні ребра.

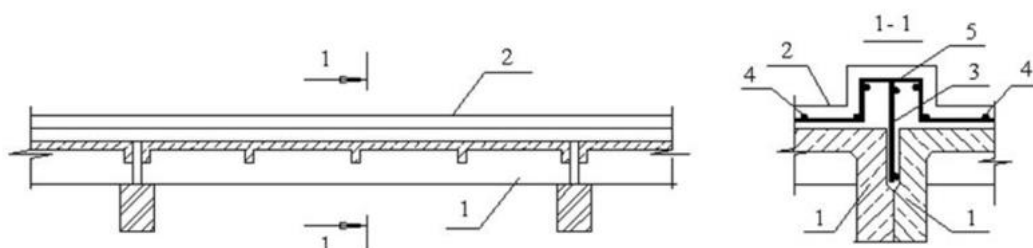
Найбільш простим методом зміцнення полицки вважається нарощування її товщини згори за допомогою додаткового шару бетону (надбетонки) (рис. 2.5, а), що вимагає забезпечення високої міцності контактної зони між старим та новим шарами. У випадках, коли досягти належного зчеплення не вдається (зокрема, через глибоке забруднення поверхні мастилами чи нафтопродуктами), у полиці роблять наскрізні прорізи без порушення цілісності наявної арматурної сітки. Після укладання суміші в цих місцях формуються бетонні шпонки (рис. 2.5, б). Мінімальна товщина додаткового шару становить 30 мм, а його клас за міцністю на стиск має бути принаймні не нижчим за аналогічний показник бетону плити.



а - при забезпеченні надійного зчеплення бетону підсилення та плити; б - при недостатньому зчепленні: 1 - плита, що підсилюється; 2 - монолітний шар бетону; 3 - арматурна сітка; 4 - розчищені шви між плитами; 5 - отвори в полиці; 6 - арматурні гнуті стержні.

Рисунок 2.5 - Підсилення полицки ребристої плити

За наявності технічної можливості підсилення полицки доцільно комбінувати з модернізацією поздовжніх ребер, монтуючи додаткові монолітні балочні елементи по верхній грані плити (рис. 2.6). Для цього міжплитні стики ретельно звільняють від бруду, насичують вологою, підсилюють плоскими арматурними каркасами та заповнюють дрібнозернистою бетонною сумішшю.

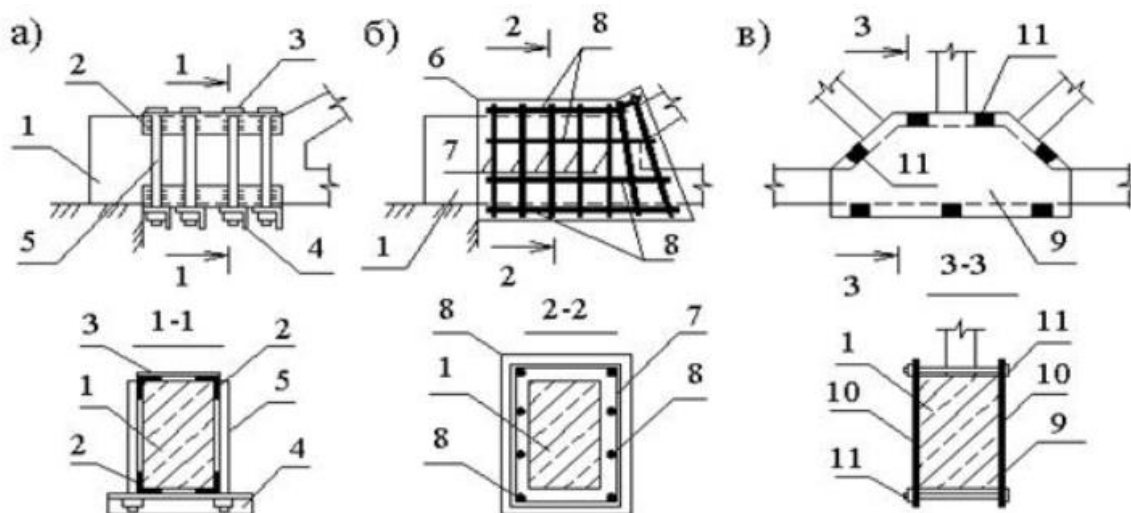


1 - плита, що підсилюється; 2 - шар монолітного залізобетону; 3 - плоскі каркаси; 4 - арматурна сітка; 5 - П-подібний арматурний каркас.

Рисунок 2.6 - Комплексне підсилення полицки та повздовжнього ребра ребристої плити

### 2.2.3 Підсилення залізобетонних ферм

Підсилення опорних та проміжних вузлових з'єднань кроквяних ферм реалізується за допомогою монтажу металевих або залізобетонних обойм (рис. 2.7). Металеві компоненти посилення формуються з лінійного прокату (смугової сталі, кутиків, стержнів) або листової сталі. Надійність такої модернізації безпосередньо зумовлена точністю монтажу та правильним розподілом зусиль у конструкції. Для забезпечення спільної роботи елементів потрібно виконати максимальне затягування фіксувальних і натяжних болтів, а в контактну зону між бетонним масивом вузла та металевими деталями підсилення укласти прошарок із полімеррозчину.



а - металевою із арматурних стержнів; б - залізобетонною; в - із металевих листів: 1 - опорний вузол ферми; 2 - кутики обойми; 3 - з'єднувальні штраби; 4 - з'єднувальні кутики; 5 - стяжні болти з гайками; 6 - залізобетонна обойма; 7 - замкнуті хомути; 8 - поздовжня арматура обойми; 9 - сталеві листи; 10 - полімеррозчин; 11 - стяжні болти.

Рисунок 2.7 - Підсилення вузлів кроквяних ферм обоймою

## 2.3 Результати проектування та реалізація відновлення

Результатом теоретичних досліджень та даних натурного обстеження стала розробка комплексу робочих креслень, спрямованих на повне відновлення експлуатаційної придатності корпусу. Процес проектування базувався на принципах поетапного включення елементів підсилення в роботу каркасу, що дозволило мінімізувати ризики під час демонтажних та монтажних операцій.

Для відновлення несучої здатності залізобетонних колон (серія KE-01-52) було впроваджено підсилення колони металевими стояками (рис. 2.8) та залізобетонною обоймою (рис. 2.9), а також підсилення пошкодженого оголовку (рис. 2.10).

Перший етап підсилення залізобетонних колон середнього ряду виконали у такій послідовності:

- починаючи з нижнього прорізу між гілками колони, встановили стояки з двох швелерів, зварених в короб, з привареними опорними пластинами;
- поверхню залізобетонних перемичок попередньо очистили від уламків бетону та змонтувати швелери з опорними пластинами на шарі цементного розчину М100;
- клини з сталевих смуг приварили до опорних пластин.



Рисунок 2.8 - Встановлення металевих стояків

Другий етап підсилення залізобетонних колон середнього ряду виконали у такій послідовності:

- поверхню гілок колони почистили, промили водою;
- змонтували вертикальну арматуру скріпивши її хомутами;
- після того виконали бетонування бетоном марки С20/25 на дрібному щебені.



Рисунок 2.9 - Встановлення залізобетонних обійм

Роботи з відновлення зруйнованих оголовків колон виконали у такій послідовності:

- демонтували бетон зруйнованого оголовка колони;
- існуючу поздовжню арматуру ( $\varnothing 18\text{AIII}$ ,  $\varnothing 20\text{AIII}$ ), яка сильно деформована, вирівняли та приварили до  $\varnothing 16\text{A500C}$  (арматура відновлення) на мін. довжину 250 мм;
- зафіксували  $\varnothing 16\text{A500C}$  хомутами з  $\varnothing 6\text{A240C}$  кроком 250 мм;

- металеву обойму з кутника L75x6 та термічно напруженої полоси -5x50 використали як елемент опалубки. Це створює жорстку металеву основу, яка здатна сприймати частину поздовжніх зусиль до моменту твердіння бетону.



Рисунок 2.10 - Підсилення оголовка колони

Для відновлення експлуатаційної придатності залізобетонних ферм (серія ПК-01-129/78) було підсилено опорні вузли залізобетонною обоймою (рис. 2.11).

Роботи з підсиленням опорних вузлів верхнього та нижнього поясів ферм виконали у такій послідовності:

- демонтували дві суміжні плити покриття в зоні опорного вузла;
- зачистили від фрагментів пошкодженого бетону поверхню опорного вузла та захисного шару поясів;
- зволожили поверхню;

- виконали армування згідно креслень, та забетонували бетоном марки C20/25.



Рисунок 2.11 - Відновлена ферма по осі «15» прольоту «Є» - «Ж»

Роботи з підсиленням ребристих плит покриття виконали у такій послідовності:

- поверхню ребристих плит покриття попередньо очистили від уламків бетону;
- ретельно очистили шви між плитами та встановили в них плоскі арматурні каркаси для подальшого замонолічування дрібнозернистим бетоном;
- укладали сітку по полиці та встановили додаткові поздовжні каркаси вздовж ребер для суміщеного підсилення елементів;
- влаштували монолітні надбетонки товщиною від 30 мм із бетону, клас якого не нижчий за клас міцності основної плити;
- провадили обов'язкове вібрування суміші та догляд за бетоном до моменту набору проектної міцності.

## **2.4 Висновки до розділу 2**

1. Запропонували пропозиції щодо відновлення конструкцій. Описано основні роботи з реконструкції, розроблено поетапний план демонтажу аварійних елементів, відновленню та підсиленню пошкоджених конструкцій.

2. Описана теоретична основа реконструкції, визначено методику підсилення та відновлення конструкцій та обрано раціональні класи матеріалів для забезпечення надійності об'єкта.

3. Продемонстровано результати реконструкції, представлено готові проектні рішення щодо двоетапного підсилення основних колон, нарощування зруйнованих оголовків та регенерації несучої здатності ферм і плит покриття.

## РОЗДІЛ 3

### ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ ЗРУЙНОВАНИХ ПРОЛЬОТІВ

#### **3.1 Розробка зміненої конструктивної схеми для відновлення зруйнованих ділянок**

Основним завданням розробки зміненої конструктивної схеми є відновлення цілісності будівлі при одночасному зниженні власної ваги та розвантаженні пошкодженого каркасу. З огляду на результати обстеження, що виявили повну або часткову руйнацію сегментних розкісних ферм 1ФС 24-2 прольотом 24 м (серія ПК-01-129/78, вип. 4) в осях «9» -«12», прийнято рішення про перехід від важкої збірної залізобетонної схеми до комбінованої системи із застосуванням металевих несучих елементів.

Змінена схема передбачає демонтаж залишків пошкоджених конструкцій та встановлення полегшених сталевих ферм із гнutoзварних профілів, що дозволяє зменшити навантаження на підсилені колони. Оновлена просторова жорсткість блоку забезпечується системою горизонтальних та вертикальних в'язей, які об'єднують нові металеві прольоти у горизонтальну діафрагму жорсткості.

Для обґрунтування вибору зміненої конструктивної схеми було проведено порівняльний аналіз традиційного залізобетонного каркаса («як було») та впровадження комбінованої системи з легких металоконструкцій.

При формуванні оновленої конструктивної схеми пріоритет надавався вирішенню наступних технічних задач:

- мінімізація власної ваги. Основним фактором проектування став перехід від масивних залізобетонних елементів до полегшених сталевих конструкцій. Це дозволило зменшити постійне навантаження на підсилені колони та фундаменти, що є критично важливим для збереження стійкості пошкодженого каркасу;
- оптимізація монтажних процесів у стиснених умовах. Використання сталевих ферм замість залізобетонних аналогів дозволило значно спростити

логістику та монтаж у межах існуючої щільної забудови. Завдяки меншій масі та можливості постачання конструкцій окремими частинами, збирання та підйом ферм здійснюється без залучення важкої кранової техніки великої вантажопідйомності, що критично важливо при роботі всередині існуючого діючого цеху;

- дотримання геометричної цілісності покрівлі. Нові металеві ферми запроектовані з повторенням контурів та геометрії існуючих залізобетонних сегментних ферм 1ФС 24-2 серії 1.463.3. Це технічне рішення гарантує відсутність перепадів та зазорів у місцях спряження нових ділянок покрівлі з вцілілими, забезпечуючи надійну герметичність та безперешкодний водовідвід атмосферних вод;

- зміна кроку кроквяних систем. З метою впровадження полегшеного покриття з сендвіч-панелей крок кроквяних ферм було змінено з 12м на 6м. Така конфігурація дозволила відмовитися від важких збірних залізобетонних ребристих плит покриття та перейти до ефективного полегшеного варіанту покриття;

- впровадження підкrokвяних систем. З метою реалізації 6-метрового кроку кроквяних ферм при збереженні 12-метрового кроку основних колон розроблено сталеві підкrokвяні ферми прольотом 12м. Ці конструкції слугують опорою для нових кроквяних елементів, забезпечуючи рівномірний розподіл зусиль на підсилені оголовки колон;

- універсальність та адаптивність проектного рішення. Розроблена схема базується на принципі модульності, що дозволяє використовувати її як типові рішення для реконструкції аналогічних промислових об'єктів зі схожим кроком колон та типом пошкоджень. Завдяки значному розвантаженню каркасу через заміну залізобетону на метал, даний підхід мінімізує потребу у додаткових підсиленнях фундаментної частини, що дозволяє оперативно впроваджувати схему на інших ділянках цеху або подібних об'єктах без проведення повторного повного циклу натурних досліджень та складних перевірочних розрахунків основ.

На основі даних технічних завдань був розроблений план відновлення кроквяних конструкцій з оновленою конструктивною схемою (Рис. 3.1).

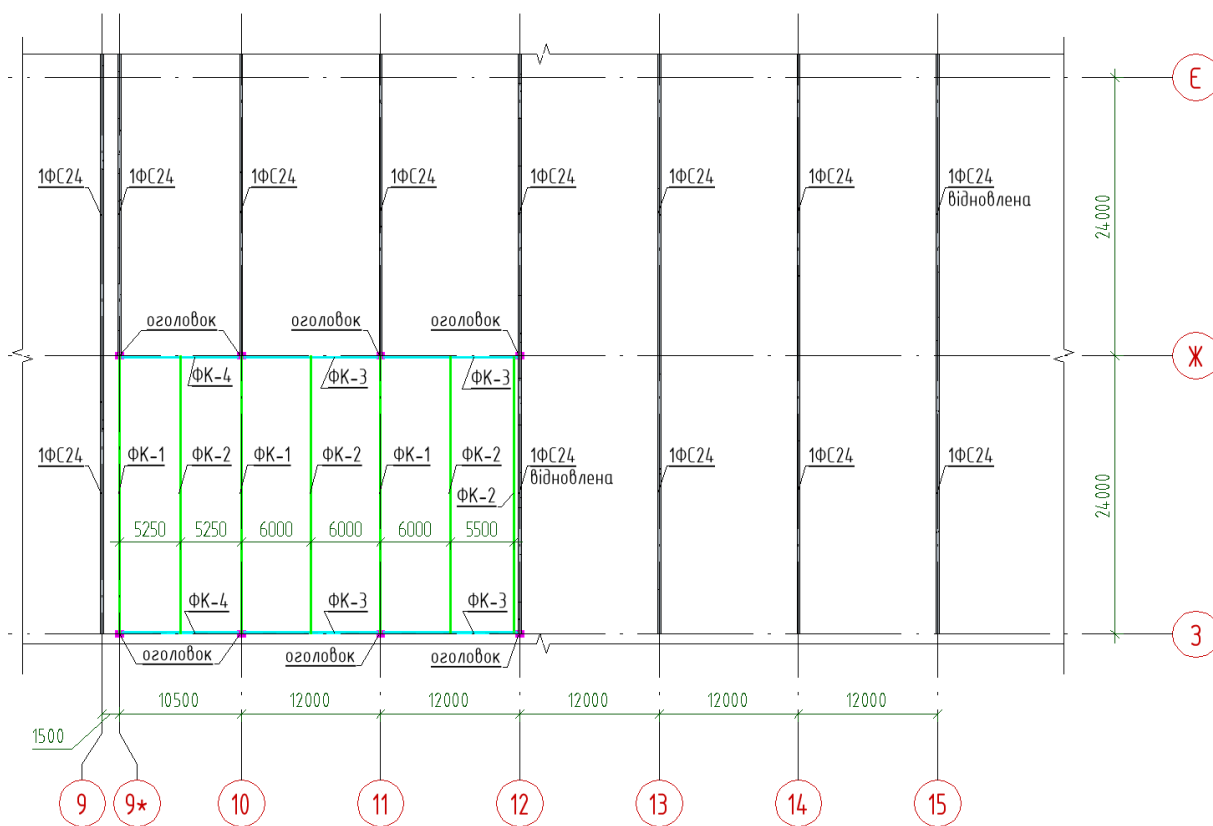


Рисунок 3.1 - План відновлення кроквяних конструкцій виробничого корпусу в прольотах «Є»-«Ж» та «Ж»-«З» в осях «9»-«15»

Використання металевих ферм та підкроквяних систем є найбільш раціональним рішенням, оскільки воно не лише відновлює геометричну цілісність будівлі, але й адаптує її до нових навантажень без критичних витрат на підсилення інших елементів.

Основні переваги переходу на металеві конструкції:

- зменшення навантажень на існуючий каркас. Заміна залізобетонних ферм 1ФС 24-2 на сталеві ферми із гнutoзварних профілів разом із використанням сендвіч-панелей дозволила знизити власну вагу покриття. Це критично важливо для пошкоджених колон серії КЕ-01-52, оскільки дозволяє відмовитися від складного та дорогавартісного їх підсилення;

- швидкість та технологічність монтажу. В умовах щільної забудови та обмеженого простору всередині цеху монтаж сталевих ферм відправними марками є значно ефективнішим;

- логістична перевага. Транспортування та складування легких металевих профілів на майданчику є менш витратним порівняно з великогабаритними залізобетонними виробами;

- економічна доцільність. Попри вищу вартість металу як матеріалу, загальний кошторис відновлення зменшується за рахунок відсутності потреби в підсиленні несучих конструкцій, спрощення монтажних операцій та скорочення терміну окупності капіталовкладень;

- експлуатаційна надійність. Використання металевих систем дозволяє сформувати надійну діафрагму жорсткості покриття, яка інтегрується в існуючий каркас через відновлені оголовки колон.

Геометричні параметри нової металевої ферми були розроблені у строгій відповідності до проектних креслень існуючих залізобетонних конструкцій ферм 1ФС 24-2 серії ПК-01-129/78 (Рис. 3.2). Такий підхід забезпечує ідеальну конфігурацію площини покрівлі, що дозволяє уникнути утворення технологічних зазорів та перепадів рівнів у вузлах спряження вцілілих залізобетонних плит із новими сендвіч-панелями, встановленими на відновлених ділянках.



Для реалізації переходу на шестиметровий крок кроквяних конструкцій при збереженні існуючої сітки колон 12x24 м було розроблено ескіз металевої підкроквяної ферми (Рис. 3.4) прольотом 12 м. Конструктивна схема підкроквяної ферми запроектована з урахуванням передачі значних зосереджених зусиль від нових металевих кроквяних ферм у вузли нижнього поясу, що мінімізує зусилля у стрижнях. Вибір перерізів елементів підкроквяної системи орієнтований на забезпечення високої жорсткості та стійкості, оскільки ці конструкції виконують роль проміжних опор та формують основу для створення оновленого просторового блоку покриття.

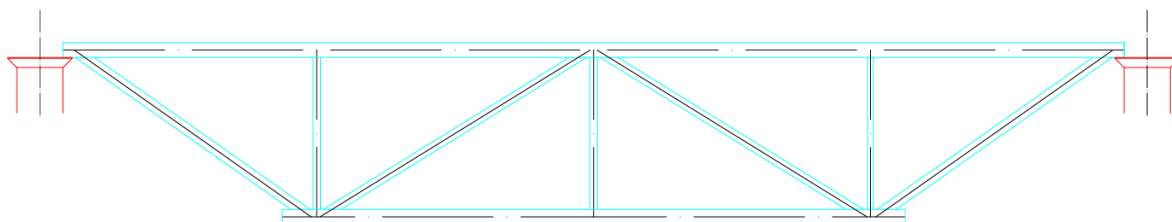


Рисунок 3.4 - Ескіз підкроквяної металевої ферми

### **3.2 Статичний розрахунок та підбір перерізів елементів металевої ферми**

Перехід до зміненої конструктивної схеми потребує детального обґрунтування несучої здатності нових металевих елементів та перевірки напружено-деформованого стану всієї системи під впливом розрахункових навантажень. Головною метою даного етапу проектування є підбір оптимальних перерізів сталевих профілів, які забезпечать необхідну жорсткість покрівлі при мінімальній власній вазі конструкції.

Інженерні розрахунки та креслення виконані відповідно до положень чинних нормативних документів в будівництві [3-6;16-17].

Додаткові детальні обстеження, креслення, інженерні розрахунки виконані з врахуванням висновків звіту та відхилень технічного стану несучих конструкцій,

виявлених в ході виконання демонтажних робіт, з можливістю часткового використання залишків конструкцій як складової частини запроектованих.

На підставі обстежень, досліджень та розрахунків розроблені графічні матеріали, креслення, специфікації на матеріали, рекомендації та висновки, вибрані економічні доступні варіанти щодо відновлення ділянок з аварійними ушкодженнями IV стану. Розрахунки на виготовлення для заміни зруйнованих та аварійних конструкцій, підсилення окремих аварійних конструкцій виконані згідно вимог [5-6].

Для проведення чисельних досліджень та визначення параметрів напружено-деформованого стану металоконструкцій було використано програмний комплекс ЛІРА-САПР. Створення скінченно-елементної моделі в автоматизованому середовищі дозволило виконати автоматизований підбір перерізів елементів (рис. 3.5-3.6) відповідно до вимог чинних нормативних документів. Завдяки інтегрованим алгоритмам перевірки сталевих конструкцій (СТК), було проведено аналіз стійкості та міцності кожного елемента розкосі решітки та поясів ферми, що забезпечило оптимальне використання металоємності при безумовному дотриманні умов жорсткості.

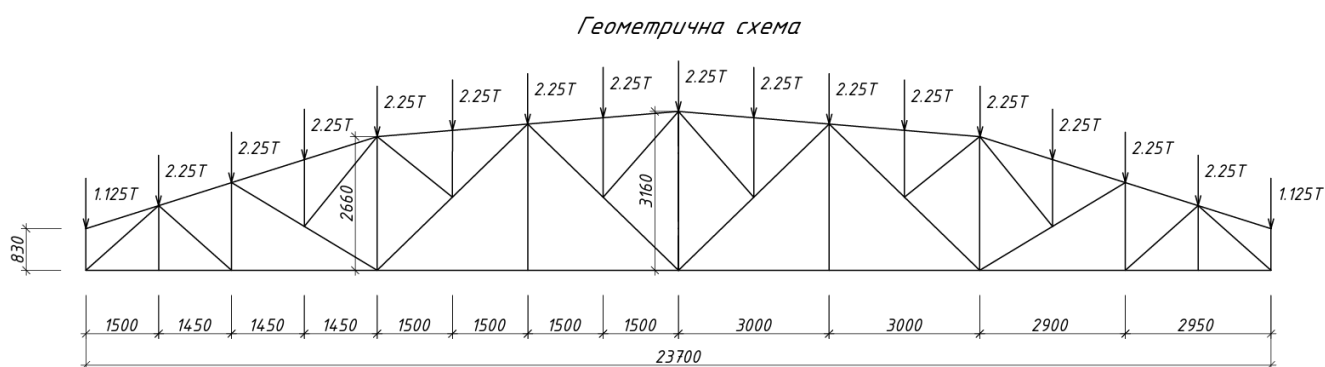


Рисунок 3.5 – Геометрична схема навантажень (постійне+снігове) на кроквяну ферму

За результатами проведеного статичного аналізу в програмному комплексі ЛПРА-САПР та перевірки за обома групами граничних станів, було визначено оптимальні перерізи елементів проектованої ферми:

- нижній пояс ферми – гнutoзварний профіль 120x6;
- верхній пояс ферми - гнutoзварний профіль 140x6;
- стійки - гнutoзварний профіль 60x4;
- розкоси - гнutoзварний профіль 80x4;
- додаткові розкоси - гнutoзварний профіль 40x4.

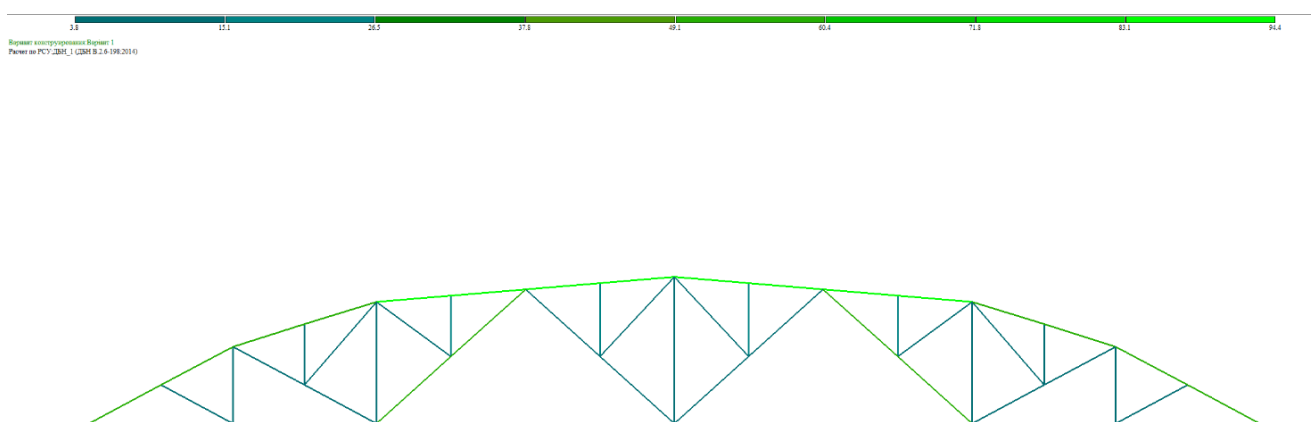


Рисунок 3.6 - Результати розрахунку підібраних сталевих елементів  
кроквяної ферми

На основі завершеного статичного розрахунку було розроблено робочі креслення кроквяних систем. Зокрема, сконструйовано кроквяну ферму марки ФК-1 (рис. 3.7), призначену для безпосереднього обпирання на оголовки колон, а також кроквяну ферму марки ФК-2 (рис. 3.8), розрахункова схема якої передбачає її встановлення на підкроквяні конструкції.

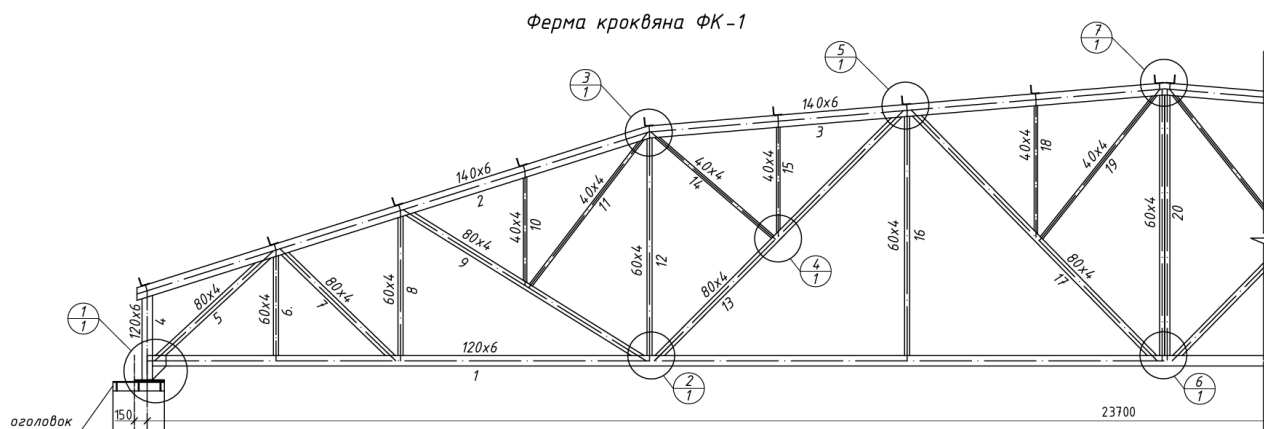


Рисунок 3.7 - Ферма кроквяна ФК-1

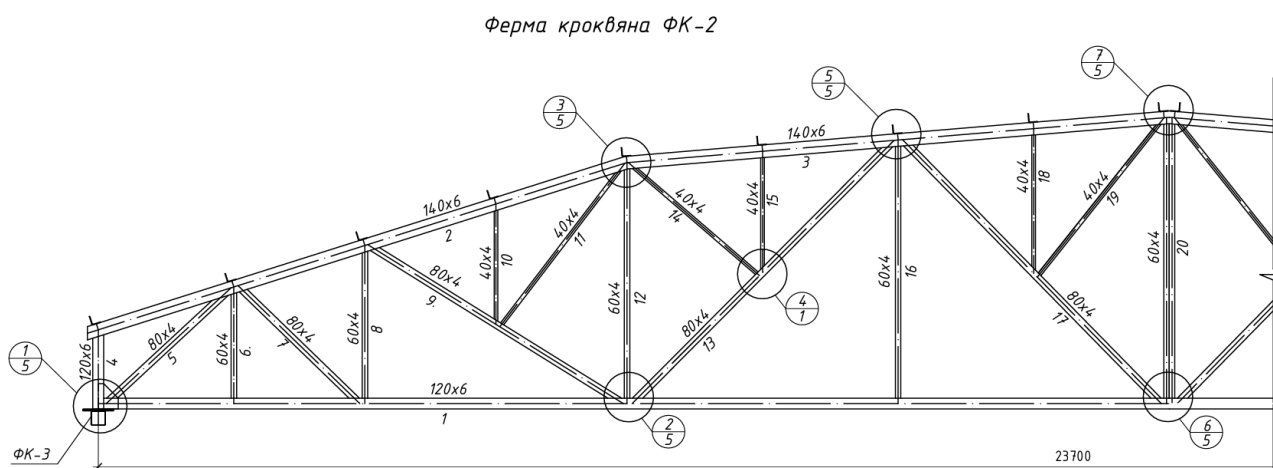


Рисунок 3.8 - Ферма кроквяна ФК-2

Відповідно до результатів порівняльного аналізу, власна вага запроектованої металевої кроквяної ферми ФК-1 становить 1.8 т, тоді як вага існуючої залізобетонної ферми 1ФС 24-2 серії ПК-01-129/78 складає 9.2 т. Таким чином, впровадження металевих конструкцій дозволило досягти суттєвого зменшення маси кроквяної системи, що критично знижує навантаження на пошкоджені колони та забезпечує необхідний експлуатаційний запас надійності всього каркаса.

За результатами проведеного статичного аналізу в програмному комплексі ЛПРА-САПР та перевірки за обома групами граничних станів, було визначено оптимальні перерізи елементів запроєктованої підкроквяної ферми (рис. 3.9-3.10):

- нижній пояс ферми - гнutoзварний профіль 160x6;
- верхній пояс ферми - гнutoзварний профіль 160x6;
- основна стійка - двотавр 16;
- додаткові стійки - гнutoзварний профіль 80x4;
- розкоси - гнutoзварний профіль 120x4.

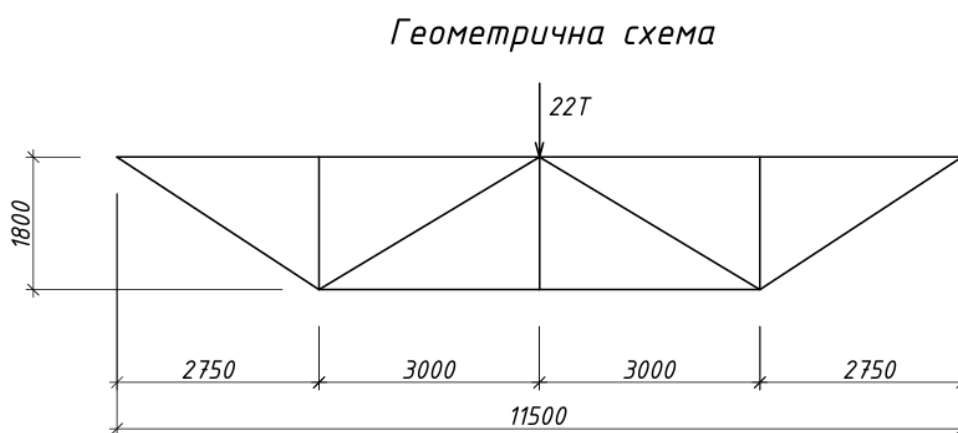


Рисунок 3.9 – Геометрична схема навантажень на підкроквяну ферму

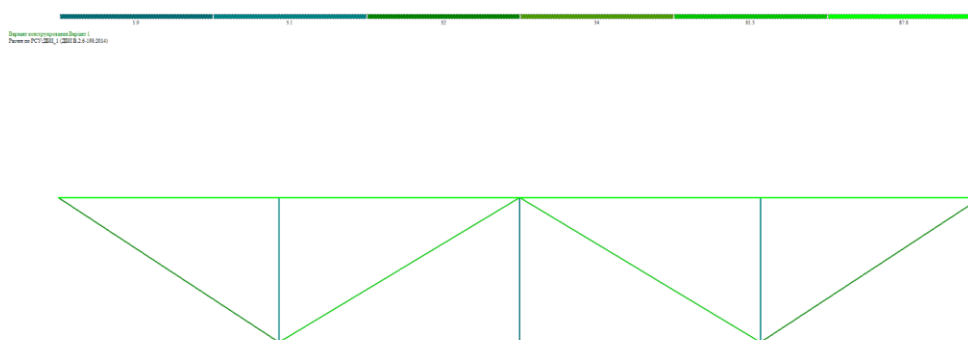


Рисунок 3.10 - Результати розрахунку підібраних сталевих елементів підкроквяної ферми

На основі завершеного статичного розрахунку було розроблено робочі креслення підкроквяних ферм. Зокрема, сконструйовано підкроквяну ферму марки ФК-3 (рис. 3.11).

Ферма підкроквяна ФК-3

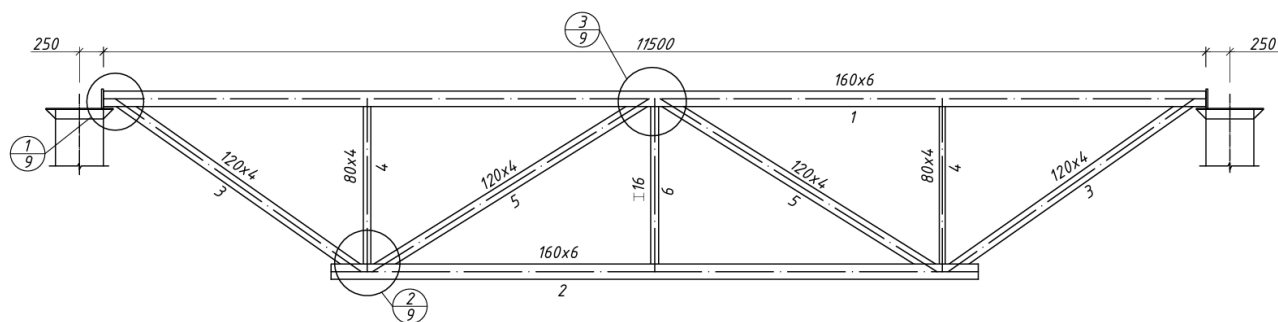


Рисунок 3.11 - Ферма підкроквяна ФК-3

Також через температурний шов який проходить по осі «9» (відстань між осями «9» - «10» - 10.5 метри), було сконструйовано підкроквяну ферму марки ФК-4 (рис. 3.12), яка на 1500мм є коротшою за ферму марки ФК-3.

Ферма підкроквяна ФК-4

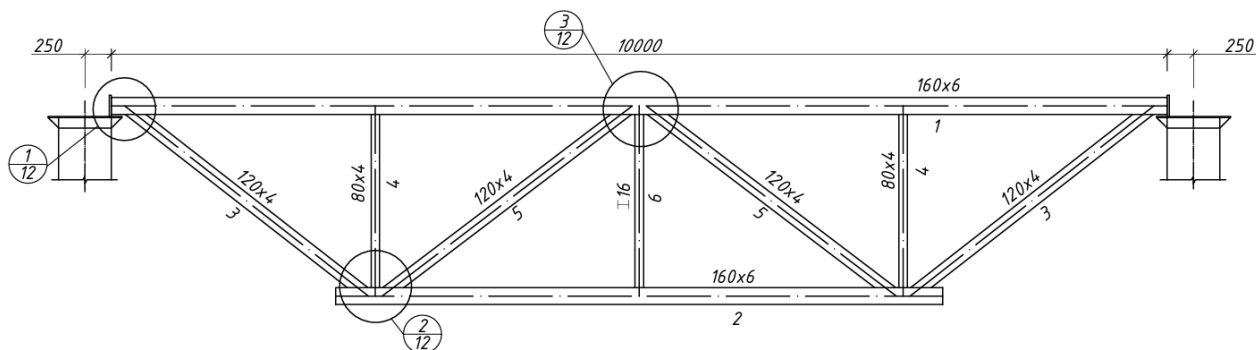


Рисунок 3.12 - Ферма підкроквяна ФК-4

### 3.3 Оцінка ефективності запроєктованих рішень та порівняльний аналіз навантажень на каркас будівлі.

Підсумковим етапом розробки зміненої конструктивної схеми є кількісна оцінка досягнутого ефекту розвантаження несучих елементів корпусу. Головним критерієм ефективності впроваджених сталевих систем виступає радикальне зниження маси покриття, що безпосередньо впливає на напружено-деформований стан підсиленних колон та стабільність фундаментної частини в умовах наявної деструкції матеріалів. Для підтвердження доцільності обраного методу відновлення було проведено порівняльний аналіз розрахункових навантажень, що передаються на оголовки колон від традиційних залізобетонних конструкцій та запроєктованої комбінованої системи із застосуванням легких металевих ферм і сендвіч-панелей. Результати цього зіставлення дозволяють обґрунтувати відмову від складних робіт із підсилення конструкцій та підтвердити надійність подальшої експлуатації об'єкта.

Для представлення кількісних результатів розвантаження каркаса складено порівняльну відомість зусиль, що діють на одну типову колону в межах відновлюваної ділянки. У наведеній таблиці 3.1 відображено сумарні навантаження (у тоннах) від постійних та тимчасових навантажень до і після впровадження запроєктованої конструктивної схеми.

Таблиця 3.1 - Зведене порівняння розрахункових навантажень на одну колону каркаса до та після реконструкції

| Найменування елементів та показників | До реконструкції (З/Б система), т | Найменування елементів та показників | Після реконструкції (Металева система), т |
|--------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------------|
| Постійне навантаження (конструкції): |                                   |                                      |                                           |
| З/Б ферма 1ФС 24-2                   | 4.6                               | Металева ферма ФК-1                  | 0.9                                       |
|                                      |                                   | Металева ферма ФК-2                  | 0.9                                       |
|                                      |                                   | Металева ферма ФК-3                  | 0.4                                       |
| Сумарно ферми:                       | 4.6                               | Сумарно ферми:                       | 2.2                                       |
| З/Б плити покриття                   | 29.6                              | Сендвіч-панелі                       | 4.3                                       |

|                                   |      |                                                 |         |
|-----------------------------------|------|-------------------------------------------------|---------|
|                                   |      | Кутники<br>100x100x7                            | 1.2     |
| Сумарно покриття:                 | 29.6 | Сумарно покриття:                               | 5.5     |
| Підкранові балки та рейки         | 4.5  | Підкранові балки та рейки (демонтовано)         | 0       |
| Разом постійне навантаження       | 38.7 | Разом постійне навантаження                     | 7.7     |
|                                   |      | Зниження постійного навантаження на одну колону | -80,10% |
| Тимчасове навантаження:           |      |                                                 |         |
| Снігове навантаження              | 20.2 | Снігове навантаження                            | 20.2    |
| Сумарне розрахункове навантаження | 58.9 | Сумарне розрахункове навантаження               | 27.9    |
|                                   |      | Зниження сумарного навантаження на одну колону  | -52,63% |

Реконструкція каркаса із заміною залізобетонної системи на металеву призвела до радикального полегшення всієї конструкції, що підтверджується зниженням постійного навантаження на одну колону на 80,1% (з 38,7 т до 7,7 т). Такий результат став можливим завдяки заміні важких залізобетонних плит та ферм на легкі сендвіч-панелі та ферм зі сталевих профілів, а також демонтажу підкранових балок. Попри те, що тимчасове снігове навантаження залишилося стабільним (20,2 т), загальне розрахункове навантаження на одну колону зменшилося більш ніж удвічі - на 52,63% (з 58,9 т до 27,9 т). Викладені результати свідчать про високу інженерну ефективність обраної стратегії відновлення, що дозволяє суттєво продовжити термін експлуатації пошкоджених колон та створити значний резерв несучої здатності фундаментної частини будівлі.

### 3.4 Висновки до розділу 3

1. Обґрунтовано доцільність переходу до комбінованої конструктивної системи відновлення зруйнованих прольотів, що базується на заміні важких залізобетонних ферм серії ПК-01-129/78 полегшеними сталевими конструкціями із гнutoзварних профілів. Запропоноване рішення дозволяє зберегти геометричну наступність покрівлі та забезпечити просторову жорсткість блоку через формування незмінної горизонтальної діафрагми, мінімізуючи при цьому складність монтажних робіт у стиснених умовах промислового майданчика.

2. Здійснено чисельне моделювання та статичний розрахунок запроектованих сталевих кроквяних та підкроквяних ферм у програмному комплексі ЛІРА-САПР. За результатами аналізу підібрано оптимальні перерізи елементів, що відповідають вимогам міцності та стійкості за [5]. Впровадження додаткових розкосів та підкроквяних систем дозволило адаптувати каркас до кроку 6 м для використання сучасних огорожувальних конструкцій із сендвіч-панелей.

3. Проведено порівняльний аналіз техніко-економічної ефективності, який продемонстрував радикальне зниження навантажень на пошкоджений каркас будівлі. Встановлено, що заміна конструктивної системи та демонтаж підкранових балок призвели до зменшення постійного навантаження на колони на 80,1%, а сумарного розрахункового навантаження - на 52,6%. Таке суттєве розвантаження гарантує стабільну роботу пошкоджених опорних елементів та виключає необхідність проведення капітального підсилення фундаментної частини, значно подовжуючи експлуатаційний ресурс об'єкта.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1 Основні законодавчі та нормативно-правові акти про охорону праці в Україні

Фундаментом системи нормативно-правового регулювання охорони праці в Україні є Конституція України. Відповідно до статті 4 Закону України «Про охорону праці» (далі - Закон), визначено ключові напрями реалізації конституційних прав громадян на захист життя і здоров'я у процесі трудової діяльності:

- пріоритетність збереження життя і здоров'я працівників над результатами виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за організацію та забезпечення належних, безпечних і здорових умов праці;
- соціальний захист працівників, що передбачає повне відшкодування збитків особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві або професійних захворювань, та інші гарантії.

Фундаментальне значення у цій галузі має також Кодекс законів про працю України, який регулює трудові відносини та забезпечує всебічний захист прав працівників на безпечне робоче середовище.

Сучасна нормативна база України включає велику кількість актів з охорони праці. Згідно зі статті 27 Закону, до них належать: правила, норми, положення, стандарти, регламенти та інструкції, що є обов'язковими для виконання. Законодавством передбачено регулярний перегляд цих актів - не рідше одного разу на десять років - для підтримки їхньої актуальності.

У будівельній галузі систему нормативного регулювання складають:

- акти, що поширюються на декілька видів економічної діяльності (міжгалузеві);
- спеціалізовані акти, що регулюють безпосередньо будівництво;
- нормативи у сфері енергетики (виробництво електроенергії, газу та тепла);

- акти з охорони надр.

Охорона праці в будівництві додатково регламентується державними будівельними нормами [10;18-19]

Згідно зі статті 13 Закону, на роботодавця покладається обов'язок щодо функціонування системи управління охороною праці (СУОП) та створення на кожному робочому місці умов, що відповідають встановленим нормам. Роботодавець несе пряму відповідальність за порушення цих вимог. Водночас, згідно зі ст. 14 Закону, працівник зобов'язаний знати та дотримуватися правил охорони праці, дбати про особисту безпеку і здоров'я оточуючих, а також проходити обов'язкові медичні огляди. За недотримання цих вимог працівник несе особисту відповідальність.

Принцип «гідна праця - це безпечна праця» є ключовим у міжнародній практиці. Удосконалення законодавства та методів гарантування безпеки, крім гуманістичної складової, має вагомий економічний аспект. Безпека праці є стратегічним фактором, що забезпечує стабільно високу продуктивність та безпосередньо впливає на загальну ефективність виробничих процесів.

#### **4.2 Організація безпечного виконання робіт при демонтажі будівельних конструкцій**

Демонтаж або розбирання будівельних конструкцій та їхніх окремих елементів належить до категорії робіт із підвищеною небезпекою. Основною особливістю таких процесів є робота з об'єктами, що можуть мати приховані дефекти або частково втрачену стійкість, що вимагає особливого підходу до планування та технічного забезпечення безпеки. Будь-який демонтаж має виконуватися виключно на підставі розробленого та затвердженого Проекту виконання робіт (ПВР), де обов'язково зазначаються зони небезпеки, послідовність розбирання, способи тимчасового закріплення елементів та схеми їх стропування.

Головним правилом безпечної організації робіт є суворе дотримання черговості, за якої розбирання конструкцій здійснюється у порядку, зворотному їхньому монтажу. Категорично не допускається видалення нижніх несучих елементів, таких як стіни, колони чи балки, якщо над ними залишаються нерозібрані або незакріплені деталі каркаса. Перед початком робіт необхідно провести ретельне обстеження поточного стану об'єкта, і якщо існує найменший ризик самовільного обвалення конструкції під час її від'єднання, обов'язково встановлюються тимчасові підтримувальні пристрої, стійки або розчалки.

Межі небезпечної зони при демонтажі визначаються з урахуванням висоти будівлі та можливого розльоту уламків. Територія має бути захищена інвентарними огороженнями, оснащена відповідними знаками безпеки, а за потреби - охоронятися сигнальниками для недопущення сторонніх осіб. Демонтаж важких елементів проводиться з використанням вантажопідійомних кранів, параметри яких розраховані на максимальну вагу елемента з урахуванням динамічних впливів. Забороняється розгойдування або виривання конструкцій краном, якщо вони не повністю вивільнені від в'язей.

Персонал, задіяний у роботах, повинен використовувати сертифіковані засоби індивідуального захисту, включаючи каски, спецвзуття та рукавиці. При виконанні операцій на висоті понад 1,3 метра обов'язковим є застосування запобіжних поясів, які кріпляться до заздалегідь визначених надійних точок або страхувальних канатів. Перед початком розбирання всі інженерні мережі, зокрема електропостачання та газопровід, мають бути відключені та заглушені, а вогневі роботи з різання металу повинні супроводжуватися суворим дотриманням правил протипожежної безпеки.

До виконання демонтажних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли спеціальне навчання, медичний огляд та інструктажі з охорони праці. Весь процес має відбуватися за нарядом-допуском під безпосереднім наглядом відповідального керівника робіт, що гарантує контроль за дотриманням проектних рішень та безпеку трудового колективу.

Особлива увага при організації робочих місць приділяється запобіганню падінню працівників з висоти та мінімізації ризиків, пов'язаних із раптовим обваленням окремих фрагментів конструкцій. Для цього під час підготовки до демонтажу передбачається влаштування надійних проходів, перехідних містків та робочих майданчиків, обладнаних захисними огороженнями. У випадках, коли встановлення тимчасових огорожень є технічно неможливим через специфіку розбирання елементів, обов'язковим є використання систем зупинки падіння, що складаються з анкерних пристроїв, страхувальних канатів та амортизуючих стропів. Всі місця закріплення засобів індивідуального захисту мають бути визначені проектним рішенням і перевірені на здатність витримати відповідне динамічне навантаження.

Важливим аспектом безпеки є також організація сигналізації та зв'язку між персоналом, що перебуває на висотних відмітках, та машиністами вантажопідйомних механізмів. Всі команди повинні передаватися згідно з встановленим кодексом сигналів, а в умовах обмеженої видимості або значного шуму - за допомогою радіозв'язку. Крім того, при використанні механізованого інструменту для демонтажу, такого як відбійні молотки, бетоноломи або дискові пили, працівники мають бути додатково забезпечені засобами захисту органів слуху та зору, а також захистом від вібрації. Постійний моніторинг стану навколишнього середовища, зокрема швидкості вітру та видимості, є обов'язковим, оскільки при досягненні граничних значень метеорологічних показників виконання демонтажних робіт має бути негайно припинено.

Завершальним етапом організації безпеки є контроль за переміщенням та складуванням демонтованих елементів. Будівельне сміття та фрагменти розібраних конструкцій повинні опускатися на землю за допомогою кранів або закритих жолобів, щоб унеможливити їх вільне падіння та травмування людей знизу. Майданчики для складування демонтованих виробів мають бути рівними, забезпечувати стійке положення вантажів та не захарашувати проходи і під'їзні шляхи для спецтехніки. Системний підхід до дотримання цих вимог дозволяє

мінімізувати виробничий травматизм та гарантувати високий рівень безпеки праці під час проведення складних інженерних операцій.

Ефективність заходів із безпечного демонтажу безпосередньо залежить від якості проведення попереднього інструктажу та рівня кваліфікації задіяного персоналу. Кожен працівник має бути ознайомлений із зонами потенційного ризику та чітким алгоритмом дій у разі виникнення позаштатних ситуацій або раптової зміни технічного стану конструкцій. Керівник робіт зобов'язаний здійснювати безперервний нагляд за виконанням операцій, контролюючи не лише технічну послідовність розбирання, а й психофізичний стан підлеглих, оскільки втома та зниження концентрації уваги є поширеними причинами виробничого травматизму на складних об'єктах.

На завершення варто зазначити, що суворе дотримання нормативних вимог охорони праці під час демонтажних робіт має не лише гуманітарне значення, а й забезпечує економічну стабільність проекту, запобігаючи аварійним зупинкам будівництва та додатковим витратам на ліквідацію наслідків непередбачуваних руйнувань. Поєднання організаційних, технічних та інженерних заходів безпеки створює надійний фундамент для успішного відновлення об'єкта, гарантуючи збереження життя і здоров'я працівників на всіх етапах трансформації конструктивної схеми будівлі.

#### **4.3 Охорона праці та заходи безпеки при монтажі сталевих конструкцій покриття**

Монтаж сталевих конструкцій покриття належить до робіт з підвищеною небезпекою, що вимагає ретельної підготовки робочих місць та суворого дотримання технологічної послідовності, визначеної проектом виконання робіт. Основним безпековим аспектом на етапі зведення нових конструкцій є забезпечення їхньої стійкості від моменту підйому до остаточного закріплення в проектному положенні. Перед початком монтажних операцій необхідно перевірити справність вантажопідйомних механізмів, відповідність знімних

вантажозахоплювальних пристроїв масі вантажів, а також надійність тимчасових розкріплень. Робоча зона має бути чітко обмежена, а перебування людей під конструкціями під час їх переміщення або встановлення суворо забороняється.

Особлива увага приділяється безпеці робіт на висоті, оскільки монтаж кроквяних та підкроквяних систем відбувається на значних відмітках. Для безпечного доступу монтажників до вузлів з'єднання мають використовуватися інвентарні риштування, вишки-тури або автомобільні гідропідйомники. У випадках, коли перебування працівника на стаціонарних майданчиках неможливе, обов'язковим є застосування запобіжних поясів із кріпленням до надійно встановлених страхувальних канатів. Перехід монтажників по встановлених фермах чи балках дозволяється лише за умови використання спеціальних страхувальних систем, що унеможливають падіння. Усі операції з наведення та стикування елементів повинні виконуватися без застосування надмірних зусиль, що могли б призвести до втрати рівноваги працівників або деформації вузлів.

Процес зварювання та болтового з'єднання металоконструкцій на висоті потребує додаткових заходів протипожежної безпеки та захисту персоналу. Місця проведення вогневих робіт мають бути огорожені негорючими екранами для запобігання падінню іскор та розплавленого металу на нижні яруси, де можуть перебувати інші працівники або обладнання. Використання ручного електричного та пневматичного інструменту допускається лише за умови його повної справності та наявності захисних кожухів. Крім того, при виконанні зварювальних робіт у відкритих умовах необхідно враховувати метеорологічні фактори: монтаж та зварювання на висоті забороняються при швидкості вітру понад 15 м/с, під час ожеледиці, грози або сильного туману, що обмежує видимість.

Завершальна фаза безпечного монтажу передбачає контроль за якістю виконання з'єднань перед зняттям тимчасових розчалок та розстропуванням конструкцій. Тільки після повного проектного закріплення вузлів та встановлення передбачених проектом в'язей жорсткості допускається передача навантаження на встановлені елементи. Системний контроль з боку інженерно-технічного

персоналу за дотриманням цих вимог, а також регулярна перевірка знань персоналу з правил промислової безпеки є запорукою успішного завершення будівельно-монтажних робіт без виробничого травматизму та аварійних ситуацій.

Додатковим фактором забезпечення безпеки при зведенні металевого каркаса є використання засобів колективного захисту, що встановлюються до початку підйому конструкцій у проектне положення. До таких засобів належать інвентарні захисні огороження, які закріплюються безпосередньо на фермах або балках ще на землі, що дозволяє монтажникам безпечно виконувати розстропування та первинне закріплення вузлів після встановлення елемента. Такий підхід суттєво знижує ризик падіння, оскільки працівник потрапляє вже у захищену зону. Крім того, особлива увага приділяється раціональному розміщенню складських майданчиків для металоконструкцій: елементи мають зберігатися у положенні, що виключає їх перекидання, та забезпечувати зручне і безпечне стропування без необхідності додаткового перекочування чи кантування вручну.

Важливу роль відіграє також контроль за технічним станом допоміжного інвентарю та пристроїв для вивіряння конструкцій. Використання розчалок, сталевих канатів та гвинтових стяжок дозволяє точно позиціонувати важкі металеві профілі, уникаючи ризику раптового зсуву елемента. Всі такелажні роботи мають проводитися за чіткими схемами, що виключають перебування людей у площині можливого падіння вантажу у разі обриву стропів. Окрім технічного контролю, обов'язковим є дотримання режиму праці та відпочинку, оскільки монтаж сталевих конструкцій супроводжується значним фізичним та психоемоційним навантаженням, що вимагає від персоналу високої концентрації уваги протягом усієї робочої зміни.

На завершення варто підкреслити, що комплексна безпека при монтажі нових конструкцій базується на поєднанні інженерної підготовки та високої виконавчої дисципліни. Своєчасне виявлення потенційних джерел небезпеки, регулярний контроль за станом засобів індивідуального захисту та неухильне дотримання технологічної послідовності робіт є запорукою мінімізації

виробничого травматизму. Тільки через інтеграцію сучасних методів страхування, використання надійних допоміжних пристроїв та постійний нагляд за трудовим процесом можна забезпечити високу якість монтажних робіт при повному збереженні життя і здоров'я працівників, що є пріоритетним завданням будь-якого будівельного виробництва.

#### **4.4 Організація безпеки та захисту персоналу підприємства в умовах воєнного стану**

В умовах повномасштабної збройної агресії проти України та дії правового режиму воєнного стану, питання охорони праці на промислових об'єктах набуває критично важливого значення. Постійна загроза ракетних та дронів ударів, а також регулярні сигнали «Повітряна тривога» вимагають від керівництва підприємств докорінного перегляду традиційних підходів до безпеки. Пріоритетним завданням стає не лише дотримання технологічних норм, а й створення дієвої системи захисту персоналу, здатної мінімізувати ризики для життя у разі раптового загострення оперативної обстановки.

Захист життя і здоров'я працівників у сучасних реаліях досягається шляхом безпосередньої інтеграції заходів цивільного захисту у щоденний виробничий цикл. Це вимагає від трудового колективу особливої дисципліни та готовності до негайної реакції на зовнішні загрози. Кожна робоча зміна на об'єктах, що перебувають у процесі відновлення після руйнувань, має проходити під суворим контролем за часом доступу до безпечних зон, оскільки затримка у кілька хвилин під час евакуації може стати фатальною.

Ключовим елементом такої системи є належна підготовка та утримання об'єктів колективного захисту, зокрема сховищ та найпростіших укриттів, які повинні бути розташовані у кроковій доступності від місць виконання робіт. Маршрути руху до укриттів мають бути чітко позначені фотолюмінесцентними покажчиками, що дозволяє персоналу швидко орієнтуватися навіть в умовах задимлення або аварійного вимкнення електроенергії. Самі ж приміщення мають

бути повністю укомплектовані запасами води, медикаментами та засобами зв'язку для координації дій із зовнішніми службами порятунку.

Організація безпеки персоналу також передбачає впровадження чітких протоколів дій за сигналом «Повітряна тривога» або при виникненні безпосередньої загрози. Кожен працівник має бути ознайомлений із планом евакуації та алгоритмом негайного припинення робіт, особливо якщо вони виконуються на висоті або з використанням вантажопідйомних механізмів.

Важливим аспектом є призначення відповідальних осіб у кожному підрозділі, які координують переміщення людей до безпечних зон та проводять перевірку наявності особового складу після завершення небезпеки. В умовах воєнного часу особливе значення має також психологічна підтримка колективу та навчання навичкам надання домедичної допомоги при травмах, спричинених дією засобів ураження.

Для мінімізації ризиків ураження персоналу на відкритих ділянках та в цехах із пошкодженням застосуванням, необхідно проводити заходи щодо зміцнення віконних та дверних прорізів захисними екранами або конструкціями з піском. Також рекомендується встановлювати мобільні бетонні укриття безпосередньо всередині виробничих приміщень для захисту під час раптових обстрілів.

Регулярний моніторинг оперативної обстановки та підтримання постійного зв'язку з територіальними органами цивільного захисту дозволяють вчасно корегувати графіки робіт, уникаючи перебування людей на об'єкті у періоди найвищої небезпеки. Системне поєднання технічних засобів захисту, організаційної дисципліни та високої поінформованості працівників є єдиним дієвим механізмом збереження кадрового потенціалу підприємства.

На завершення варто підкреслити, що комплексна безпека персоналу в надзвичайних умовах базується на постійній готовності та швидкій реакції на загрози. Тільки через неухильне дотримання нормативних вимог цивільного захисту та особисту відповідальність кожного працівника можна забезпечити стабільне функціонування об'єкта та захистити людське життя як найвищу цінність.



#### 4.5 Висновки до розділу 4

1. Розглянуто законодавчу базу України, яка встановлює пріоритет життя працівника та визначає відповідальність роботодавця за створення безпечних умов праці на будівельному майданчику.

2. Визначено регламент проведення демонтажних робіт, що базується на суворій послідовності розбирання конструкцій та обов'язковому використанні засобів захисту від падіння з висоти.

3. Сформульовано вимоги до безпечного монтажу сталевих ферм, які передбачають контроль стійкості елементів, використання інвентарних риштувань та дотримання правил пожежної безпеки при зварюванні.

4. Обґрунтовано заходи цивільного захисту персоналу в умовах воєнного стану, що включають підготовку укриттів та впровадження чітких протоколів евакуації за сигналом повітряної тривоги.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. За результатами візуального та інструментального обстежень виявлено значні пошкодження конструкцій від динамічної дії вибухової хвилі та тривалого термічного впливу пожежі. Встановлено, що частина залізобетонних сегментних ферм (1ФС 24-2) та плит покриття перейшли в аварійний стан (IV категорія) через втрату міцнісних характеристик бетону та відпуск робочої арматури, що вимагає їх обов'язкового демонтажу.

2. Розроблено та обґрунтовано інженерні рішення для збереження несучої здатності вцілілих конструкцій. Для пошкоджених залізобетонних двовіткових колон (серія КЕ-01-52) запроектовано двоетапне підсилення: встановлення металевих обойм-стояків, що одразу включаються в роботу, із подальшим влаштуванням залізобетонної обойми та відновленням зруйнованих оголовків колон під обпирання нових конструкцій.

3. Запропоновано ефективний алгоритм розвантаження існуючого каркаса шляхом повної відмови від важких залізобетонних елементів покриття на користь легких металевих систем. З метою впровадження полегшеного покриття (сендвіч-панелей) крок кроквяних ферм було змінено з 12 м на 6 м за допомогою встановлення підкроквяних систем.

4. За допомогою чисельного моделювання у програмному комплексі ЛІРА-САПР проведено статичний розрахунок оновленої просторової моделі каркаса. На основі розрахунків підібрано оптимальні перерізи та розроблено робочі креслення нових металевих кроквяних і підкроквяних ферм із гнutoзварних профілів (марки ФК-1, ФК-2, ФК-3, ФК-4).

5. Порівняльний аналіз навантажень до та після реконструкції підтвердив високу доцільність обраної стратегії. Впровадження сталевих систем та демонтаж підкранових балок дозволили радикально знизити постійне навантаження на одну колону на 80,1 %. Сумарне розрахункове навантаження на колону зменшилося на 52,63 %. Такий резерв несучої здатності дозволяє безпечно

експлуатувати пошкоджену будівлю без проведення дороговартісного підсилення та заміни конструкцій.

6. Розроблено комплекс організаційно-технічних заходів для забезпечення безпеки працівників під час виконання робіт із підвищеною небезпекою: поетапного демонтажу аварійних конструкцій та монтажу металевих систем на висоті. Сформовано спеціальні алгоритми захисту персоналу в умовах воєнного стану, зокрема облаштування укриттів та протоколи евакуації під час повітряних тривог.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. - 56 с.
2. ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість»
3. 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
4. ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи. Норми проектування» зі зміною № 1 та № 2
5. ДБН В.2.6-198:2014 «Сталеві конструкції. Норми проектування» зі зміною № 1
6. ДБН В.2.6-98:2009 «Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення» зі зміною № 1
7. ДБН В.1.2-9:2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека і доступність під час експлуатації»
8. ДСТУ Б В.3.1-2:2016 «Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд»
9. ДБН В.1.2-5:2007 «Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Науково-технічний супровід будівельних об’єктів»
10. ДБН В.1.2-12-2008 «Система надійності та безпеки в будівництві. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки»
11. ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України»
12. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги»
13. ДСТУ 8855:2019 «Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності)»

14. ДБН А.2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» зі змінами № 1, № 2 та поправкою до зміни № 2
15. Постанова Кабінету Міністрів України №473 «Про затвердження Порядку виконання робіт з обстеження об'єктів, пошкоджених внаслідок збройної агресії Російської Федерації»
16. ДСТУ 9273:2024 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість»
17. ДБН В.2.2-15:2019 «Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення.» зі зміною № 1
18. ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва»
19. ДБН А.3.2-2-2009 «Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення»
20. Клименко Ф. Є, Барабаш В. М, Стороженко Л. І. Металеві конструкції / За ред. Ф. Є. Клименка: Підручник.- 2-ге вид, випр. і доп.-Львів: Світ, 2002.-312 с.
21. Підгурський М.І. Проектування металевих конструкцій. Сталевий каркас одноповерхової виробничої будівлі. Теоретичні основи проектування з прикладами розрахунку / М.І. Підгурський, І.М. Підгурський. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.М, 2021. – 236 с.
22. "Карта Відновлення та Руйнувань" - URL: <https://reukraine.shtab.net/>
23. Шатрова І. А. Організація будівництва під час реконструкції зруйнованих будівель і споруд / І. А. Шатрова, О. О. Демидова // Економіко-управлінські та інформаційно-аналітичні новації в будівництві : IV Міжнародна науково-практична конференція : програма та тези доповідей, Київ, 7 - 8 червня 2022 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. ; ред. О. Ю. Беленкова. - Київ : Ліра-К, 2022. - С. 49 - 52.
24. О.В. Якименко, К.О. Кіктьова. Технічна експлуатація будівель та споруд. Харків, ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. - 248 с.

25. Бліхарський З.Я. Реконструкція та підсилення будинків та споруд: Навчальний посібник. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. - 108с.
26. Гандзюк М. П., Желібо Е. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці / За ред. Гандзюка М. П. - К.: Каравела 2003 - 405 с.
27. Ткачук К. Н., Халімовський М. О., Зацарний В.В., та інші. Основи охорони праці: Підручник. -К.: Основа, 2006. -444 с.
28. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: Підручник. - К.: Основа, 2002 - 320 с.
29. Сучасні методи діагностики стану будівельних конструкцій після їх тривалої експлуатації / П.В. Ясній, О.П. Конончук, О.М. Якубишин // Праці V Міжнародної науково-технічної конференції «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування», 19-22 вересня 2017 року - Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 - С. 222-225.
30. Методичні вказівки до оформлення курсових та дипломних проектів із залізобетонних конструкцій для студентів спеціальності “Промислове та цивільне будівництво ” / Укладачі: Я.О.Ковальчук, Д.І.Дубіжанський., А.П.Сорочак, О.П.Конончук. - Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2013. - 52 с.
31. Особливості дослідження напружено-деформівного стану будівельних сталевих перфорованих балок методом скінчених елементів / М. Підгурський, І. Підгурський, М. Сташків, В. Ігнат'єва, С. Данильченко, Д. Биків, О. Підлужний // Вісник ТНТУ. - Т. : ТНТУ, 2023. - Том 111. - № 3. - С. 126-138.
32. Kononchuk, O., Iasnii, V., Lutsyk, N., 2022. Prediction of reinforced concrete structures behavior using finite element method. 1st Virtual International Conference «In service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction». Procedia Structural Integrity 36, 177 - 181.
33. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд / Є.В.Клименко. — ПолтНТУ, 2004. — 280 с.

34. Каспрук В.Б. Методичні вказівки для написання розділу з Охорони праці в будівництві спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» - Тернопіль: ТНТУ, 2024. -15 с.

35. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

36. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.