МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: **Методи моніторингу експлуатаційної якості промислових об'єктів в умовах дії агресивного середовища**

Виконав: студент 2 курсу, група 8.1923-пцб-1
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)

Лебедєв О. А.
(призвище та ініціали)

Керівник доцент кафедри ПЦБ, к.т.н. Полтавець М.О.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, призвище та ініціали)

Рецензент доцент кафедри ПЦБ, к.т.н. Мішук К.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, призвище та ініціали)

Запоріжжя
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(шифр і назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
завідувач кафедри *промислового та цивільного будівництва*
проф. І.А. Арутюнян
"___" _____ 20___ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Лебедєв Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проекту) Методи моніторингу експлуатаційної якості промислових об'єктів в умовах дії агресивного середовища

Науковий керівник роботи доц., к.т.н., Полтавець Марина Олександрівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від "*30*" *09* 2024 року № *1486-с*
2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи *грудень 2024 р.*
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи *Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливості розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Проаналізувати агресивні середовища та їх вплив на промислові об'єкти. Дослідити методи та засоби моніторингу ресурсу промислових об'єктів в умовах агресивних середовищ. Дослідити практичні аспекти застосування моніторингу промислових об'єктів для визначення їх залишкового ресурсу.*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Від восьми графічних плакатів (слайдів) із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Полтавець М.О., доц.		
Розділ 2	Полтавець М.О., доц.		
Розділ 3	Полтавець М.О., доц.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Агресивні середовища: характеристика та вплив на промислові об'єкти	1 жовтня	
2	Розділ 2. Методи та засоби моніторингу залишкового ресурсу промислових об'єктів в умовах агресивних середовищ	1 листопада	
3	Розділ 3. Практичні аспекти застосування моніторингу промислових об'єктів для визначення їх залишкового ресурсу	1 грудня	

Студент _____ Лебедєв О.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту) _____ Полтавець М.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Данкевич Н.О.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лебедєв О.А. Методи моніторингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник М.О. Полтавець. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2024.

Розглянуті та проаналізовані методи моніторингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища. Доведено, що моніторинг залишкового ресурсу промислових обєктів є важливим для забезпечення безпечної та ефективної роботи обладнання, особливо на підприємствах, що функціонують в умовах агресивних середовищ. Хімічні, фізичні та біологічні фактори можуть значно скоротити термін служби техніки. Оцінка залишкового ресурсу об’єктів дозволяє визначити його здатність до подальшої експлуатації без загрози для безпеки та ефективності. Цей моніторинг допомагає своєчасно виявляти критичні зміни в стані конструкцій та техніки, прогнозувати моменти їхнього виходу з ладу і своєчасно планувати технічне обслуговування.

Ключові слова: моніторинг, експлуатаційна якість, агресивне середовище, промислові об’єкти, корозія

Список публікацій магістранта:

1. Полтавець М.О., Лебедєв О.А. Інноваційні технології застосування скляної черепиці. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. Т.5. 567 с. С.313 – 315.

ABSTRAKT

Lebedev O. Methods o f Monitoring the Operational Quality of Industrial Facilities Under an Aggressive Environment

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor M. Poltavets, Zaporizhzhya National University, Y.M Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Industrial and Civil Engineering, 2024.

The methods of monitoring the operational quality of industrial facilities under the conditions of an aggressive environment are considered and analyzed. It has been proven that monitoring the residual resource of industrial enterprises is important for ensuring safe and efficient operation of equipment, especially at enterprises operating in aggressive environments. Chemical, physical and biological factors can significantly shorten the life of equipment.

The assessment of the residual resource of the equipment allows to determine its ability for further operation without a threat to safety and efficiency. This monitoring helps to detect critical changes in the condition of structures and equipment in a timely manner, to predict the moments of their failure and to plan maintenance in a timely manner.

Keywords: monitoring, operational quality, aggressive environment, industrial facilities, corrosion

List of postgraduate publications

1. Полтавець М.О., Лебедєв О.А. Інноваційні технології застосування скляної черепиці. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. Т.5. 567 с. С.313 – 315.

ЗМІСТ

ВСТУП…… 6
1 АГРЕСИВНІ СЕРЕДОВИЩА: ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВПЛИВ НА ПРОМИСЛОВІ ОБ'ЄКТИ …… 9
1.1 Вплив агресивних середовищ на промислові об'єкти……..……... 9
1.2 Види агресивних середовищ ……... 17
1.3 Основні фактори впливу агресивних середовищ на будівельні матеріали та обладнання промислових об'єктів …….. 18
2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРИНГУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ …… 37
2.1 Теоретичні аспекти моніторингу залишкового ресурсу промислових об'єктів ……..…….. 37
2.2 Вибір огороджувальних конструкцій для будівництва промислових об'єктів в умовах агресивного середовища ……..… 45
2.3 Моніторинг технічного стану конструкцій промислових об'єктів, які експлуатуються в умовах агресивних середовищ …….……. 51
3 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ …… 61
3.1 Вибір методів моніторингу промислових об'єктів з врахуванням експлуатаційних особливостей для конкретних умов …… 61
3.2 Застосування моніторингу споруди відкритої кранової естакади …….. 66
3.2.1 Технічний стан будівельних конструкцій …….. 70
3.2.2 Фотоілюстрація дефектів та пошкоджень …….. 73
3.2.3 Відомість дефектів і пошкоджень …… 80
3.2.4 Рекомендації щодо застосування заходів для забезпечення надійності та безпеки під час подальшої експлуатації споруди після моніторингу … 82

3.3 Рекомендації щодо підвищення ефективності моніторингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища ……... 84
ВИСНОВКИ ……88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ……90
ДОДАТОК А ……... 93

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Моніторинг залишкового ресурсу промислових об’єктів є важливою складовою для забезпечення безпечної та ефективної експлуатації будівель та обладнання. Особливо це актуально для об’єктів, що працюють в умовах агресивних середовищ, де вплив хімічних, фізичних та біологічних факторів може значно скоротити термін служби обладнання.

Залишковий ресурс промислового обладнання визначає можливість його подальшої експлуатації без ризику для безпеки та ефективності. Моніторинг залишкового ресурсу дозволяє вчасно виявити критичні зміни в стані несучих конструкцій та обладнання, прогнозувати терміни виходу з ладу та планувати технічне обслуговування.

Агресивні середовища, до яких відносяться хімічні, фізичні та біологічні фактори, можуть значно впливати на будівельні матеріали та конструкції об’єктів. До хімічних факторів належать корозійні рідини та гази, до фізичних – високі температури, тиск та радіація, до біологічних – мікроорганізми, що викликають біокорозію.

Вплив агресивних середовищ в яких експлуатуються промислові об’єкти в Україні може призводити до: корозії металів та інших матеріалів; зниження механічної міцності конструкцій; погіршення ізоляційних властивостей.

Для оцінки залишкового ресурсу в умовах агресивних середовищ використовуються різні методи, зокрема:

– інструментальні методи діагностики, які включають вимірювання товщини стінок труб та резервуарів, вібраційний аналіз, акустичну емісію та інші;

– неруйнівний контроль, до якого належать ультразвуковий контроль, рентгенографія, магнітно-порошковий метод та інші;

– сучасні технології та програмне забезпечення для обробки даних моніторингу та прогнозування залишкового ресурсу.

Моніторинг залишкового ресурсу є невід'ємною частиною управління промисловими об’єктами, особливо в умовах агресивних середовищ. Використання сучасних методів та технологій дозволяє вчасно виявляти критичні зміни в стані обладнання, що сприяє підвищенню його безпеки та ефективності.

Метою магістерської роботи є дослідження методів моніторіингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачене рішення наступних задач:

- проаналізувати та узагальнити методів моніторіингу спрямовані на підвищення експлуатаційної якості промислових об’єктів;
- проаналізувати нормативну базу та результати досліджень з цієї тематики;
- дослідити вплив агресивних середовищ на промислові об’єкти;
- навести практичні аспекти застосування моніторингу на прикладі конкретних об’єктів;
- розробити рекомендації щодо застосування заходів для забезпечення надійності та безпеки під час подальшої експлуатації споруди після моніторингу.

Об'єкт дослідження є промислові об’єкти в умовах дії агресивного середовища.

Предметом дослідження є методи моніторингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища.

Методи дослідження. В процесі опрацювання роботи застосовано метод аналізу та узагальнення; теоретичних досліджень, заснованими на сучасних досягненнях в області теорії та практики підвищення надійності та експлуатаційної якості конструкцій промислових об’єктів згідно сучасних нормативних документів.

Джерела дослідження. Під час дослідження теми були використані наукові статті в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій, інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек.

Наукова новизна: полягає в розробці рекомендації щодо застосування заходів для забезпечення надійності та безпеки під час подальшої експлуатації споруди після моніторингу.

Практична цінність: досліджені та узагальнені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності та експлуатаційної якості промислових об'єктів в умовах дії агресивного середовища. Наведені практичні аспекти застосування моніторингу на прикладі конкретних підприємст.

Апробація роботи – за результатами досліджень опубліковано тези доповіді на науково-практична конференція за участю молодих науковців «Молода наука 2024».

Відомості про публікації здобувача.

Інноваційні технології застосування скляної черепиці. Полтавець М.О., Лебедєв О.А. Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2024»: у 5 т. / Запорізький національний університет. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. Т.5. 567 с. С.313 – 315.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, додатку, списку використаних джерел. Робота викладена на 105 сторінках, 4 таблиці, 27 рисунків, 9 аркушів креслень. Для написання даної роботи використано 41 літературне джерело.

1 АГРЕСИВНІ СЕРЕДОВИЩА: ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВПЛИВ НА ПРОМИСЛОВІ ОБ'ЄКТИ

1.1 Вплив агресивних середовищ на промислові об'єкти

Існує багато активних речовин у навколишньому середовищі, які негативно впливають на будівельні матеріали, спричиняючи різні корозійні процеси. Це призводить до потреби класифікації корозійних впливів залежно від типу експлуатаційного середовища будівельних конструкцій, з урахуванням техніко-економічних чинників, що впливають на термін служби промислових об'єктів. Агресивні середовища поділяють за фізичним станом на рідкі, тверді та газоподібні. Однак важливо розглянути особливості їх впливу та загальні характеристики, оскільки корозійні процеси у твердих і газоподібних середовищах фактично починаються і протікають лише в присутності рідкої фази. Тому першочергово необхідно розглянути рідкі середовища [1].

Всі рідкі середовища містять воду, яка є одним з основних природних мінералів. Її властивості значно впливають на перебіг природних та технологічних процесів, тому розгляд рідких експлуатаційних середовищ слід починати з води. В її структурі є ряд аномалій, зумовлених сильним взаємним притяганням молекул води через утворення водневих зв'язків. Ці зв'язки відіграють важливу роль у реакціях за участю води, значно впливаючи на структуру і властивості новоутворених гідратних форм. Дослідження вчених дозволили створити електростатичну модель води і пояснити її ключові властивості. Молекули води утворюють асоційовані комплекси через взаємне притягання різнойменних полюсів і водневих зв'язків. Найбільш стійкі комплекси утворюються при n = 2. Ступінь асоціації значною мірою залежить від температури. При 0 °С, до появи льоду, вода переважно складається з потрійних комплексів. Нагрівання води від 0 до 4 °С супроводжується

перетворенням потрійних комплексів у подвійні. При нормальній температурі вода містить одинарні і деяку кількість подвійних комплексів. Хоча і в незначній мірі, вода як хімічна сполука дисоціює на іони за певною схемою:

$$H_2O = H^+ + OH^- \quad (1.1)$$

Оскільки активності іонів у розведених розчинах приблизно дорівнюють їхнім концентраціям, а активність самої води близька до одиниці, константа дисоціації води дорівнює:

$$K = [H^+]\cdot[OH^-] = 10^{-14};\ [OH^-] = 10^{-2}\ \text{г-моль/л.} \quad (1.2)$$

Оскільки вода має дуже велику діелектричну постійну, вона здатна розчиняти багато речовин. При розчиненні можуть утворюватися гідрати, тобто хімічні сполуки, що містять молекули води, а також відбуватися гідроліз, що змінює рівень pH. При розчиненні різних речовин у воді можуть утворюватися істинні розчини, коли всі або майже всі складові частини вихідних солей (переважно неорганічні сполуки) роз'єднані молекулами води, а навколо іонізованих частинок формуються гідратні оболонки [2].

Деякі речовини, наприклад органічні сполуки і деякі гази, у воді не іонізуються і знаходяться в стані молекулярного роздроблення. У воді також можуть бути присутні більші частинки розміром від 1 до 200 нм. У воді, яка є середовищем для експлуатації бетону та залізобетону, зазвичай містяться розчинені неорганічні солі, такі як сульфати, хлориди і карбонати натрію, кальцію, магнію і калію, розчинність яких наведена в таблиці 1.1.

З підвищенням температури розчинність солей зазвичай збільшується. Важливим фактором для розвитку корозійних процесів є також здатність води розчиняти різні газоподібні речовини. Дані про розчинність деяких газів за певної температури наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Розчинність певних неорганічних солей [3]

Хімічна формула солі	Розчинність при 18 °С, г/л
1	2
$CaCl_2$	731,9
$MgCl_2$	558,1
$MgSO_4$	354,3
NaCl	328,6
Na_2SO_4	168,3
Na_2CO_3	133,9
$CaSO_4$	2,0
$CaCO_3$	0,01

Таблиця 1.2 – Розчинність деяких газів за температури [3]

Температура, °С	Розчинність, мг газу /1 л розчину		
	O_2	N_2	CO_2
0	48,9	-	1713
5	42,9	-	1432
10	38,5	19,5	1195
15	34,2	17,4	1005
20	30.8	16,0	870
25	28,2	14,8	757
30	26,3	13,8	665

Загальна мінералізація природних вод залежить від кліматичних умов і типу порід, що залягають у даному районі. Її мінімальне значення, як правило, реєструється в регіонах з холодним кліматом і великою кількістю атмосферних опадів, а максимальне – у теплих посушливих областях. Контакт з легкорозчинними породами сприяє підвищенню загальної мінералізації вод у будь-яких кліматичних умовах. Природні води поділяються на підземні та поверхневі.

Однією з найважливіших характеристик води, яка багато в чому визначає співвідношення різних форм іонів у розчині, є показник pH. Крім того, важливою характеристикою води є титрована кислотність. Для сильних кислот (або лугів) у розведених розчинах різниця між активною і загальною кислотністю (лужністю) практично дорівнює нулю.

У поверхневих водах значення pH знаходиться в діапазоні від 4,5 до 8,5, а в ґрунтах – від 4,0 до 9,0. У широкому діапазоні pH (4-8,5) повністю розчинні лише солі лужних металів (K, Na) і в меншій мірі лугоземельних (Ca, Mg), а також галогеніди (Cl, F). Більшість солей металів у кислих розчинах перебувають у формі катіонів, але з підвищенням pH вони зазвичай випадають у формі гідроксидів і основних солей. Гідроксиди елементів, які мають аморфні властивості, при переході pH у лужну область розчиняються з утворенням комплексних кисневих аніонів. Однак точно визначити значення pH гідролізу елементів важко, оскільки на цей процес впливають такі фактори, як температура розчину, його концентрація, іонна сила тощо. Для більшості елементів з підвищенням температури значення pH осадження гідроксидів зростає [4].

Виходячи з умов формування природних вод за значенням pH, їх можна розділити на чотири групи (за класифікацією А. І. Перельмана) [5]:

– сильнокислотні (pH < 3). Кислотність зумовлена наявністю вільної сірки або соляної кислоти.

– кислі й слабкокислі (3 < pH < 6,5). Кислотність залежить від присутності органічних кислот і вуглекислоти.

– нейтральні й слабколужні (6,5 < pH < 8,5), що зумовлено наявністю $Ca(HCO_3)_2$.

– сильнолужні (pH ≥ 8,5), що визначається присутністю карбонату натрію.

Не менш важливою характеристикою водних розчинів є їхній окислювально-відновний потенціал (Eh). Значення Eh відображає співвідношення різних форм елементів у водному розчині. Протіканню окислювальних процесів сприяє наявність у воді розчиненого кисню і відкритий контакт із повітряними масами, що містять вільний кисень. Окислювачами можуть бути й інші елементи, здатні приймати електрони. Зі зменшенням вмісту кисню у воді вона стає більш відновлювальним середовищем, ніж окислювальним. У відновлювальному середовищі кисень відсутній, а значення Eh є низькими – зазвичай менше 0,1 В. Поглинання кисню

в природних водах зазвичай відбувається в результаті біохімічних процесів і процесів окислення вуглецевмісних органічних речовин.

У природних водах найбільш поширені іони натрію. Велика їхня частина врівноважується іонами хлору, сульфат-іонами, а невелика частина – карбонатними. Іонів калію в природних водах небагато, близько 4-10% від кількості іонів натрію. Іони кальцію зустрічаються переважно у слабкомінералізованих водах. З підвищенням мінералізації вміст кальцію швидко знижується через низьку розчинність його сульфатів і особливо карбонатів. Через це в природних водах вміст кальцію складає менше 1 г/л. Іони магнію присутні майже у всіх природних водах, тому що розчинність сульфатів і карбонатів магнію вища, ніж у гіпсу і бікарбонату кальцію. У мінералізованих природних водах вміст іонів магнію може досягати кількох грамів на літр.

Серед сполук азоту найбільше значення мають іони амонію. У природних водах аміак може утворюватися внаслідок бактеріального розкладання органічних речовин, що містять білок. Вміст іона NH_4^+ у природних водах зазвичай не перевищує кількох міліграмів на літр.

Ступінь мінералізації та хімічний склад ґрунтових вод визначаються переважно мінералогічним складом гірських порід і ґрунтів, через які проходить ґрунтовий потік, а також кількістю опадів і кліматичними умовами даного регіону. Найбільш типовими для ґрунтових вод є іони Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-} і HCO_3^-. Ці води за характером утворення поділяються на води вилуговування і континентального засолення.

Хімічний склад ґрунтових вод вилуговування є різноманітним. При контакті з родовищами кам'яної солі NaCl у таких водах збільшується вміст хлоридів, а при контакті з гіпсоносними породами підвищується вміст сульфатів (до 5 г/л). У районах підзолистих ґрунтів при рясних опадах утворюються слабкокислі ґрунтові води. Ґрунтові води вилуговування характерні для лісостепових і степових районів.

Ґрунтові води континентального засолення зустрічаються в сухих степах, де мало опадів і висока швидкість випаровування води. Значній засоленості відповідає висока мінералізація вод легкорозчинними солями NaCl, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaSO_4$, Na_2SO_4, Na_2CO_3, а незначній – мала мінералізація вод гідрокарбонатно-натрієвими та, меншою мірою, сульфатно-натрієвими солями.

Ґрунтові води залежно від хімічного складу можуть мати по відношенню до бетону сульфатну, загальнокислотну (наприклад, вуглекислотну) та магнезіальну агресивність.

Промислові й стічні води, залежно від вмісту домішок, поділяють на забруднені та умовно чисті. Забруднення класифікують за хімічним складом і фізичним станом. За хімічним складом вони поділяються на мінеральні й органічні, а за фізичним станом – залежно від ступеня дисперсності: на розчинені, колоїдні й нерозчинені. До нерозчинних домішок відносять всі частки у вигляді зависів з розмірами більше десятих часток міліметра, а також суспензії, емульсії та піни з розмірами часток від десятих часток міліметра до 0,1 мкм. До мінеральних домішок стічних вод належать пісок, глина, частки руди, шлаку, мінеральні солі [3].

При визначенні складу стічних вод важливо знати концентрацію забруднень, що виражається в мг/л. Концентрація забруднень залежить від норми водовідведення: чим більша норма, тим нижча концентрація забруднень. Концентрація забруднень змінюється залежно від часу доби – вночі вона мінімальна та сезону – взимку вона вища, оскільки менш водовідведення, змінюється залежно від сезону і температура стічних вод.

Промислові води відрізняються значною різноманітністю і можуть бути класифіковані за складом на наступні групи:

– з високим вмістом мінеральних забруднень (походять від підприємств металургійної та будівельної промисловості);

– з переважною кількістю органічних забруднень (звичайно від підприємств харчової промисловості);

– зі змішаним забрудненням (походять від підприємств хімічної промисловості).

При змішуванні різних стічних вод їх компоненти швидко взаємодіють, що може призводити до випадіння в осад форм карбонатів кальцію, магнію, заліза, гіпсу і кремнезему. При зміні pH і Eh можуть утворюватися гідроксиди металів, їх сульфіди та виділятися газоподібні продукти, такі як H_2S, CO_2, SO_2 та інші.

Для стічних вод важливо визначити такі параметри, як здатність домішок до осадження, плавлення на поверхню, коагуляції, фільтрації, а також їх питому електричну провідність, pH і Eh, температуру, швидкість руху тощо. Фізичні властивості механічних домішок і швидкість руху стічних вод впливають на швидкість механічного зносу будівельних матеріалів промислових підприємств.

Питома електрична провідність стічних вод визначає їх корозійну активність відносно бетону та арматури конструкцій. Вона відображає загальний рівень іонізації речовин, що містяться у стічних водах, і дозволяє оцінити їхню реакційну здатність.

Рівень pH вказує на агресивність води за загальнокислотними властивостями. Нижньою межею стійкості гідратаційних продуктів цементу вважається значення pH = 6,5. Отже, стічні води за ступенем їх агресивності можна розділити на дві категорії: з pH > 6,5 і з pH < 6,5. Оцінка впливу стічних вод на металеві конструкції і деталі більш деталізована: води з pH = 4-6 є сильно агресивними до заліза і сталі, води з pH = 6-5 – агресивні, а з pH = 6,5-8,5 – слабко агресивні.

Показник Eh стічних вод також впливає на оцінку їх агресивності до бетону і сталевої арматури. Якщо Eh > 0, то середовище є окислювальним (аеробним) і містить кисень. У таких умовах сірка, хром і ванадій утворюють розчинні сполуки, такі як сульфати, хромати, ванадати, а тривалентне залізо і чотиривалентний марганець – важкорозчинні сполуки. При Eh < 0 стічні води вважаються відновними (анаеробними), де відсутній вільний кисень, а можуть знаходитися CH_4, H_2S та інші агресивні гази. Відновні реакції підтримуються

мікроорганізмами, які розкладають органічні речовини. У таких умовах Fe^{3+} і Mn^{4+} переходять у форми з меншою валентністю, а сульфати – у сульфіди. Присутність сірководню може призводити до утворення малорозчинних сульфідів металів.

Також важливо враховувати температуру стічних вод, яка може коливатися від 4 до 90°С і більше, при проектуванні конструкцій. Нормативні вимоги, наведені у [8] у частині металевих конструкцій, показують, що агресивність рідинних середовищ збільшується на один рівень, коли їхня температура зростає від норми 25°С до 70°С.

Забруднення атмосфери газами походить від промислових підприємств, де основними джерелами забруднення повітря є викиди згоряння палива на теплових електростанціях, котельнях, різноманітних паливних установках, двигунах внутрішнього згоряння та інших пристроях. Агресивність газового середовища значно підвищується в приміщеннях і на території промислових підприємств, де обробляються гази, що можуть бути агресивними до бетону або сталевої арматури. Такі умови часто спостерігаються в прибережних морських районах, де до агресивності повітря додаються аерозолі солей морської води.

У промислових районах найбільш небезпечними забрудненнями є діоксид сірки SO_2, а також вуглекислий газ CO_2 та оксиди азоту NO і NO_2. Практично завжди в атмосфері присутня суміш різних газів, тому процеси корозії матеріалів потрібно розглядати з урахуванням взаємодії з вуглекислим газом і дотримання карбонатної рівноваги. Крім того, у цехах хімічної, нафтохімічної, металургійної та інших галузей промисловості повітря може бути забруднено молекулярним хлором Cl_2, парами соляної кислоти HCl, сірководнем H_2S та іншими газами [3].

В залежності від відносної вологості, атмосферне повітря поділяється на такі категорії: сухе (з відносною вологістю $W \leq 60\%$), нормальне ($W = 61\text{-}75\%$) і вологе ($W \geq 75\%$). Основними характеристиками газоподібних середовищ є відносна вологість, температура і концентрація газів, що визначають ступінь їхньої агресивності по відношенню до матеріалів.

У свою чергу, частки пилу й аерозолі, які містяться в атмосфері, можна класифікувати на наступні категорії: корозійно-активні, депасіватори, аерозолі, які підвищують питому електричну провідність плівки електроліту, адсорбенти та інертні. Пилоподібні забруднення також розділяються на малорозчинні, малогігроскопічні, та легкорозчинні гігроскопічні. Оцінка ступеня агресивності газоповітряних і твердих середовищ проводиться за [12].

В індустріальних районах важливо враховувати розташування промислового підприємства відносно джерела виділення агресивних газів, напрямок вітру, відстань до джерела агресивного впливу та його вид. При оцінці ступеня агресивності атмосфери рекомендується обстежувати раніше побудовані промислові будівлі в даному районі. Також варто враховувати перспективи промислового будівництва і підвищення вимог до газоочисних систем підприємств. При будівництві вблизь від морів або солоних озер важливо враховувати, що солі можуть накопичуватися в порах бетону. Це залежить не тільки від їхньої наявності в атмосфері приморських районів, але й від напрямку вітрів і вологості клімату [3].

1.2 Види агресивних середовищ

Тверді агресивні середовища включають сухі мінеральні ґрунти і різні сипучі хімічні матеріали, такі як добрива, фарби, гербіциди та інші хімікалії. У таких середовищах корозійні процеси при звичайній температурі без участі рідкої фази не відбуваються.

Агресивність сухих ґрунтів залежить від кількості і складу солей, що містяться в них, умов зволоження і вологості клімату.

У внутрішніх приміщеннях небезпека порошкоподібних твердих середовищ визначається зволоженням через конденсаційну вологу, що виникає внаслідок капілярної конденсації між частками порошку і гігроскопічністю матеріалу.

Згідно з відомим принципом, водні розчини різних речовин мають нижчий тиск пари води над собою, ніж чиста вода при тій же температурі. Це призводить до того, що розчини будуть поглинати воду з повітря, доки не досягнуть рівноваги з навколишнім середовищем, якщо вологість повітря менше 100%, але більше рівноважної для цього розчину.

Ступінь агресивності твердих середовищ прямо залежить від їхньої гігроскопічності. Активний агресивний вплив пилоподібних твердих середовищ може виникнути внаслідок утворення плівки рідини або водного розчину під шаром пилу через конденсацію з пари [3].

Отже, корозійні процеси між твердими агресивними середовищами і бетоном можуть відбуватися лише за участі рідкої фази або внаслідок безпосереднього зволоження твердого середовища опадами, ґрунтовими або поверхневими водами, а також технологічними розчинами.

1.3 Основні фактори впливу агресивних середовищ на будівельні матеріали та обладнання промислових об’єктів

Класифікація факторів, що впливають на руйнування мінеральних будівельних матеріалів, залежно від зовнішнього впливу, включає фізичну, хімічну, електрохімічну, біологічну і інші форми корозії. При виборі матеріалів для будівельних робіт з урахуванням їх корозійної стійкості важливо враховувати наступні фактори і умови [8]:

– у практично неагресивних зовнішніх умовах вибір матеріалів базується головним чином на їхній марочній міцності;

– при постійному впливі кліматичних і атмосферних факторів без насичення водою враховують атмосферостійкість і марочну міцність;

– при можливому епізодичному впливі температур нижче 0°С в умовах водонасичення важливість набувають морозостійкість і водонепроникність;

– при поперемінному заморожуванні й відтаванні в умовах епізодичного насичення водою важливість мають морозостійкість і водонепроникність матеріалу;

– при механічному стиранні в умовах постійного або епізодичного водонасичення і змінних температур враховують міцність, щільність і морозостійкість;

– при впливі усіх видів агресивних факторів згідно існуючої класифікації враховується корозійна стійкість матеріалу.

Корозійна стійкість будівельних матеріалів означає їхню здатність опиратися процесам руйнування, які відбуваються у матеріалах під впливом зовнішніх агресивних факторів. Ця властивість є загальною для будь-якого будівельного матеріалу, незалежно від його природи та складу. Матеріали, які проявляють стійкість у одних умовах експлуатації, можуть бути нестійкими у інших. Термін "корозієстійкі матеріали" використовується для тих, які зберігають свою стійкість в різних агресивних середовищах і практично не потребують додаткового захисту [5].

До мінеральних будівельних матеріалів відносяться природні камені, кераміка, бетони, будівельні розчини та інші, що відрізняються від металевих за своєю структурою і фізико-механічними властивостями, а також механізмом взаємодії з агресивними факторами навколишнього середовища. Багато з цих матеріалів мають молекулярну структуру, характерну для неметалічних матеріалів, з іонним зв'язком, що призводить до їхньої взаємодії з водою і утворенням іонних розчинів. Ці матеріали також інтенсивно реагують з кислими, лужними або мінералізованими водами.

Більшість мінеральних будівельних матеріалів, особливо штучні види, відрізняються значною пористістю, що призводить до кількох ключових особливостей. По-перше, це можливість фільтрації і поглинання води, викликана конденсацією пари води та іншими процесами. Крім того, пориста структура сприяє інтенсивній взаємодії матеріалів з рідкими середовищами через пори. Ще однією особливістю є неоднорідність і полімінеральність

структури більшості матеріалів цієї групи, яка часто переходить у конгломератну. Наприклад, багато гірських порід, таких як граніти, діорити, сієніти, мають склад із кількох мінералів, тоді як вапняки містять домішки і вкраплення, що значно можуть впливати на їхні властивості. Штучні кам'яні матеріали, наприклад бетони та силікатна цегла, є ще складнішими за структурою і складом.

Корозійна стійкість цементуючої частини таких мінеральних матеріалів є їхньою найбільш слабкою точкою. Можливість розвитку корозійних процесів у таких конструкціях зумовлена хімічними властивостями складових матеріалів, щільністю їхньої структури та концентрацією агресивних компонентів у середовищі експлуатації. Повний урахування всіх цих факторів є складним завданням. У будівництві матеріали мінерального походження зазвичай розділяють на три групи в залежності від їхньої поведінки у агресивних середовищах.

Перша група включає такі матеріали:

– звичайні бетони і залізобетон на портландцементі та його різновидах;

– розчини для кладки і опоряджувальні;

– азбестоцементні вироби;

– силікатні будівельні матеріали;

– природні вапняки і доломіти.

Усі ці матеріали мають спільне, що до їх складу входять гідрати або карбонати кальцію і магнію. Вони відрізняються відносно високою лугостійкістю і досить низькою кислотністю.

Друга група включає такі матеріали:

– бетони на основі рідкого скла з кремнієфтористим натрієм;

– кислі гірські породи, що переважно складаються з кремнезему, алюмосилікатів тощо.

Ці матеріали відрізняються високою стійкістю не лише до кислот, але й до лугів низьких і середніх концентрацій при нормальній температурі, завдяки їхнім властивостям, таким як висока щільність і міцність.

Третя група включає керамічні матеріали. Усі керамічні матеріали, особливо з великою щільністю, відрізняються високою кислотостійкістю.

Бетон, як штучний будівельний матеріал мінерального походження, є основним матеріалом у сучасному цивільному, промисловому, гідротехнічному, теплоенергетичному, дорожньому будівництві та інших сферах. Крім того, існують спеціальні види бетону, такі як кислотостійкий, жаростійкий, радіаційнозахисний та інший.

Властивості бетону залежать від його хімічного складу, який, в першу чергу, визначається мінералогічним складом цементу. Основні клінкерні мінерали цементу включають:

– C_3S (трикальційсилікат) з вмістом 60-65%;

– C_2S (дикальційсилікат) з вмістом 18-20%;

– C_3A (трикальційальумінат) з вмістом 5-7%;

– C_4AF (тетракальційалюміноферрат) з вмістом 15%.

Хімічний склад цементного каменю визначається наявністю гідросилікатів кальцію, таких як:

– CSH-B (тоберморитоподібні гідросилікати): $CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ або $5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5{,}5H_2O$ (тоберморіт);

– $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ (гідроалюмінат кальцію);

– $Ca(OH)_2$ (гідроксид кальцію).

Цей хімічний склад визначає ключові властивості бетону і його стійкість у різних умовах експлуатації.

У бетонах можна виділити три типи структур: мікроструктуру (структура цементного каменю), мезоструктуру (структура двокомпонентного цементно-піщаного розчину) і макроструктуру (структура бетону, що складається з щебеню і цементно-піщаного розчину).

Мікроструктура цементного каменю може мати різні форми: коагуляційну, конденсаційну і кристалізаційну. У свіжевиготовленому цементному розчині переважає коагуляційна мікроструктура, де зчеплення між частинками відбувається за рахунок міжмолекулярних Ван-дер-Ваальсових сил.

Конденсаційна мікроструктура формується внаслідок поступового зв'язування води та утворення міцних кристалізаційних зв'язків між частинками. У кристалізаційних мікроструктурах зв'язки між частинками забезпечуються валентними зв'язками, що сприяють міцному зрощенню частинок. Структура цементного каменю старіє з часом і набуває вираженого коагуляційно-кристалізаційного характеру.

Загальна пористість щільних бетонів, яка виникає внаслідок процесів осідання твердих частинок (наприклад, заповнювачів у цементному розчині) та повітровтягнення, коливається від 8 до 15%. Для бетонів з високим рівнем повітровтягнення пористість може досягати 85%. При вивченні впливу агресивних середовищ на бетон важливо враховувати об'єм відкритих пор, через які можуть рухатися агресивні речовини. Цей параметр відомий як проникність або ефективна пористість, і він змінюється з часом взаємодії бетону з водою.

Здатність бетонів спиратися на агресивне середовище визначається їх ефективною пористістю, яка обумовлена наявністю капілярів, пор, мікротріщин, каверн, свищів та інших дефектів. Усі бетонні конструкції в різній мірі є проникними. Водонепроникність бетону визначається маркою, що відповідає тиску води, при якому видимі ознаки фільтрації з'являються на 2 з 6 зразків. Таким чином, бетон певної марки за водонепроникністю не є абсолютно водонепроникним, коли тиск води дорівнює марці.

У капілярно-пористих тілах, таких як бетон, при контакті з водою відбуваються наступні процеси: поверхневе розчинення та гідроліз складових частин структури, наявність розклинюючого тиску в тріщинах та мікропорах. Під тиском води може відбуватися не лише розчинення, а й частковий винос розчинених продуктів, що може призводити до зниження міцності матеріалу.

Заповнювачі бетону представлені різними гірськими породами, такими як магматичні породи, наприклад, граніт ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), щільні карбонатні породи, наприклад, вапняки ($CaCO_3$), а також дрібний заповнювач - силікатний пісок (SiO_2). Оскільки заповнювачі становлять приблизно 80% об'єму бетону,

їхня корозійна стійкість і властивості поверхні мають велике значення. Хімічна стійкість гранітів і пісків зазвичай не викликає сумнівів, але варто враховувати стійкість вапняків. Наприклад, під впливом кислот карбонатні заповнювачі руйнуються швидше, ніж цементний камінь.

Особливе місце серед заповнювачів займають породи, що містять аморфний кремнезем, такі як опал, халцедон, кремінь. Під впливом лугів, які містяться в цементі, ці породи можуть ініціювати корозійні процеси. У бетонах з пористими заповнювачами ущільнення цементного каменю у контактному шарі відбувається за рахунок відсмоктування води заповнювачем. Це призводить до більш високої водонепроникності таких бетонів порівняно з бетонами такої ж марки, але з щільними заповнювачами.

Силікатні матеріали, наприклад, силікатна цегла, виготовляються з суміші кварцового піску з вмістом SiO_2 більше 90% і вапна, і їх твердіння відбувається в автоклавах за певною реакцією:

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 \rightarrow CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O. \quad (1.3)$$

Силікатна цегла зміцнюється додатково у звичайних умовах через карбонізацію, яка полягає у поглинанні CO_2 з повітря. Присутність в силікатних матеріалах вапна і вуглекислого кальцію робить їх нестійкими навіть у слабких водяних розчинах мінеральних і органічних кислот. Наприклад, у воді з розчиненим вуглекислим газом вуглекислий кальцій переходить у розчинний гідрокарбонат, що призводить до руйнування силікатної цегли. Крім того, під час висихання цегли, яка періодично насичується лужними розчинами, утворюються кристалогідрати в її порах, що створює напруження розтягування і призводить до зниження міцності конструкцій або виробів.

При зволоженні силікатні матеріали також стають нестійкими, а при зміні температури силікатна фаза розширюється, що також може призводити до руйнування матеріалу. Проте силікатна цегла, яка містить до 90% кремнезему,

демонструє високу стійкість до дії деяких слабкоконцентрованих лужних розчинів.

Окрім силікатної цегли, у будівництві широко використовують інші силікатні вироби, такі як великі стінові блоки, опоряджувальні плити, сходи тощо. Ці вироби мають різні технології виготовлення і міцність, але їх фізико-хімічні властивості схожі на властивості силікатної цегли.

Будівельні матеріали і конструкції промислових підприємств, зроблені з природних кам'яних матеріалів, мають фізико-хімічні властивості, характерні для гірських порід, з яких вони виготовлені. Вивержені гірські породи, незалежно від їх кристалічної або аморфної природи, відрізняються доброю кислотостійкістю і достатньою лугостійкістю. Породи з високою щільністю також характеризуються високою морозостійкістю. Ці матеріали широко застосовуються у будівництві для виготовлення таких виробів, як щебінь для бетону, блоки для фундаментів, стінові конструкції тощо [5].

Породи осадового походження також широко використовуються у будівництві, але вони не завжди мають високу корозійну стійкість, за винятком механічних осадових порід, таких як гравій і пісок, які зберігають властивості первинних порід – високу кислотостійкість і достатню лугостійкість. Вапняки ($CaCO_3$), магнезити ($MgCO_3$), доломіти ($MgCO_3 \cdot CaCO_3$) і щільні кремнеземисті вапняки мають низьку кислотостійкість. Зокрема, звичайні вапняки слабко стійкі до дії води без CO_2 або з низьким вмістом CO_2 (менше 15-20 мг/л). Підвищення концентрації CO_2 призводить до утворення бікарбонату кальцію, який легко розчиняється у воді і спричиняє руйнування матеріалу.

Природний гіпсовий камінь ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) і ангідрит ($CaSO_4$) легко піддаються корозійному руйнуванню під впливом кислот і швидко розчиняються у воді, розчинність гіпсу становить 2,5 г/л, але виявляють деякий опір впливу лугів.

Корозійна стійкість деяких піщаників залежить від природи цементуючого матеріалу, який зв'язує кварцовий кістяк. Наприклад, вапнякові піщаники, зцементовані $SiO_2 \cdot nH_2O$, виявляються достатньо стійкими до кислот і лугів.

Залізовмісні піщаники – бурий і червоний залізняк, зцементовані гідратованими окислами заліза, не мають високої корозійної стійкості, а їх морозостійкість, стійкість до солей і води залежать від пористості та природи цементуючих речовин. Наприклад, періодичне зволоження і сушіння піщаників з домішками глини і мергелю знижує їх морозостійкість.

У будівництві широко використовуються метаморфічні породи, такі як гнейси, кварцити і мармури. Будівельні матеріали з цих порід мають приблизно ті ж властивості, що і породи, з яких вони виготовлені.

Кристалічні кварцити, що представляють собою різновид піщаників і складаються з зерен кварцу, зцементованих кремнеземистим цементом або без цементації, відрізняються високою кислотостійкістю і стійкістю до лугів. Також високо стійкими до корозії є гнейси, що характеризуються складом, близьким до гранітів.

Мармур є одним з видів вапняків або доломітів, складається з кристалічних зерен $CaCO_3$ або $MgCO_3 \cdot CaCO_3$, які зчеплені між собою кристалічним зчепленням. Цей матеріал широко використовується як декоративний, але не є стійким до атмосферних впливів і піддається швидкому руйнуванню у зовнішньому застосуванні, особливо на неполірованих поверхнях. Корозія мармуру виникає при наявності сірчаного газу і вологості в повітрі. Це призводить до утворення на його поверхні сірчаної кислоти і, в результаті, до розчинення гіпсового порошку. Цей процес хімічної корозії супроводжується фізичною корозією – розпушенням кальциту зі збільшенням об’єму на 10-15 %.

У цілому стійкість матеріалів цієї групи залежить від якості гірської породи, форми виробу, умов експлуатації, а також від інтенсивності захисних заходів. Правильне і своєчасне застосування захисних заходів підвищує термін служби конструкцій і виробів, зберігає декоративну якість і природне забарвлення матеріалу протягом тривалого часу. Вибір захисних заходів залежить від особливостей кам'яного матеріалу та умов його експлуатації. Чим більше пористість матеріалу, тим сильніше його вплив фактори руйнування. Тому найефективнішим методом захисту кам'яних матеріалів є запобігання

проникненню води через поверхню конструкції. Захист може здійснюватись конструктивними та хімічними методами.

До конструктивних заходів для відкритих частин будівельних споруд, таких як цоколі, карнизи, парапети, колони тощо, відносять надання їм форми, що сприяє ефективному відведенню води або застосування виробів з полірованою поверхнею для швидкого стікання води. Це особливо важливо для матеріалів, які мають поверхню, що може сприяти збереженню дощової або талої води.

Хімічні заходи включають ущільнення поверхні матеріалу за допомогою насичених водяних розчинів речовин, які утворюють нерозчинні сполуки з мінералами каменю. Цей метод захисту, відомий як кремнефторизація або флюатування, призводить до утворення на поверхні і в порах каменю нерозчинних речовин. Це підвищує міцність, морозостійкість і хімічну стійкість матеріалу. Зазвичай для цього використовують флюати магнієвої солі або алюмінієвий флюат. Обробка хімічним способом значно зменшує водопоглинання каменю.

Породи з великими порами і малим вмістом вуглекислого кальцію можуть бути оброблені спочатку просочуванням розчином хлориду кальцію, а потім обробкою розчином соди. Це призводить до утворення карбонату кальцію за реакцією:

$$CaCl_2 + Na_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2NaCl \quad (1.4)$$

Подальне флюатування, що полягає в просочуванні розчином флюориду (сіль кремнефтористо-водневої кислоти), спричинює істотне ущільнення поверхні каменю через активну реакцію з карбонатом кальцію:

$$2CaCO_3 + MgSiF_6 = 2CaF_2 + SiO_2 + 2CO_2 \uparrow \quad (1.5)$$

Для запобігання вивітрюванню опоряджувальних матеріалів, виготовлених з деяких гірських порід, рекомендується послідовно обробляти їх поверхню рідким склом і хлоридом кальцію. У результаті хімічної реакції в

порах каменю утворюються нерозчинні сполуки силікату кальцію і кремінної кислоти, які заповнюють пори. Додаткове ущільнення поверхні каменю досягається через послідовне просочування спиртовим розчином калійного мила й оцетокислого глинозему, що призводить до відкладення глиноземистої солі в порах каменю.

Інший спосіб ущільнення поверхні полягає в поліруванні, під час якого пори заповнюються дрібними частинками матеріалу, що робить їх недоступними для води й газів. Останнім часом все частіше застосовуються методи ущільнення поверхні кам'яних виробів за допомогою просочування полімерними матеріалами, які мають гідрофобні властивості.

Більшість керамічних матеріалів, особливо великої щільності, мають високу корозійну стійкість до кислот і задовільну до лугів. Проте керамічна цегла з високим вмістом кремнезему і глинозему не стійка до дії водних розчинів лугів, які утворюють легкорозчинні солі, що можуть вимиватися. Така цегла легко піддається фізичній і хімічній корозії під впливом кристалогідратів, особливо сульфітів натрію і магнію, що утворюються з розчинів солей.

Необхідно також зазначити, що хімічний вплив води на керамічні матеріали найбільше виявляється в теплий період року, тоді як фізичний вплив найбільш помітний у зимовий період, коли замерзаюча волога збільшує об'єм і нагромадження в порах каменю. Тому морозостійкість цегли значно залежить від технології виробництва, яка забезпечує рівномірну щільність виробів по всьому об'єму і рівномірний розподіл вологи на різних етапах виробництва.

Керамічні плитки завдяки вмісту алюмосилікатів досить стійкі до впливу всіх органічних і мінеральних кислот, за винятком плавикової. Однак їхня лугостійкість залежить від складу і щільності матеріалу, і найбільшу лугостійкість мають плитки з черепком високої щільності.

Сольова корозія бетону є формою фізичної корозії, що виникає внаслідок кристалізації солей через капілярне підсмоктування та випаровування мінералізованих вод у умовах експлуатації бетону при позитивних

температурах. Особливо небезпечно, коли в порах бетону спочатку кристалізуються безводні солі, які потім перетворюються в кристалогідрати за відповідних умов. Ці перетворення зазвичай супроводжуються збільшенням об'єму твердої фази і виникненням значних внутрішніх напружень у бетоні. Такий процес також підсилюється термічними, хімічними та фазовими перетвореннями, що сприяють розвитку осмотичних явищ. Циклічний характер впливу розчинів солей, зокрема зміни температурних режимів вдень і вночі, значно впливає на процеси підсмоктування, кристалізації та розчинність солей.

Для запобігання цьому типу корозії рекомендується використовувати бетони з пористістю не більше 2%, або захищати їх гідроізоляцією відповідно до відповідних нормативних документів [12].

Вплив осмотичних явищ на руйнування бетону виявляється у рівноважних колоїдних системах, де різниця хімічних потенціалів між зв'язаною і вільною рідкими фазами компенсується осмотичним тиском. Осмотичний тиск залежить від концентрації зовнішнього порового електроліту і пов'язаний зі зміною електрокінетичних властивостей гідратних відкладень і продуктів корозії, що мають мікроскопічні розміри – колоїдний ступінь дисперсності. Взаємодія зовнішнього порового електроліту з міцеллярним розчином колоїдних частинок або гелів полягає в тому, що їхні об'ємні зміни залежать не лише від осмотичного тиску і товщини дифузійного шару самих колоїдних частинок, але і від доннанівського потенціалу, знак якого визначається знаком потенціалу домінуючого іону колоїдної частинки або гелю.

Один з найяскравіших прикладів руйнування бетону під впливом осмотичних сил – це корозія бетону внаслідок реакції лугів цементу з заповнювачами, такими як активний кремнезем. Цей процес корозії пов'язаний з тим, що цементний камінь та його реакційні продукти з заповнювачами у тонких шарах мають властивості, що характеризуються напівпроникними бар'єрами. Якщо один бік цього бар'єру знаходиться в розчині деякої солі, а інший бік - в воді або менш концентрованому розчині цієї ж солі, то розчинник проникає в більш концентрований розчин, поки концентрації по обидва боки

бар'єру не вирівняються. Коли концентрований розчин знаходиться в замкнутому осередку, оточеному напівпроникним шаром (бар'єром), усередині цього осередку виникає осмотичний тиск, що діє на стінки мембрани.

Для запобігання цьому виду корозії можна застосовувати наступні заходи:

– обмежувати вміст лугів у цементі до 0,3% (на основі Na_2O);

– використовувати тонкомелені гідравлічні добавки у кількості не менше 15% від маси цементу, де це можливо;

– регулювати пористість шляхом введення хімічних добавок.

Також важливо враховувати вплив контракційних явищ, які супроводжують гідратацію цементу і можуть відбуватись протягом усього терміну експлуатації бетону. ці явища включають утворення напружень розтягування, які акцентується на перегородках між мікропорами.

Хімічну корозію бетону та залізобетону спричиняють впливи рідких, газоподібних і пилоподібних середовищ. Корозія у рідких середовищах є найнебезпечнішою і найпоширенішою. За типами хімічної взаємодії іонів середовища з іонами порового електроліту бетону можна виділити дві групи реакцій корозії:

– обмінні хімічні реакції, які призводять до утворення легкорозчинних солей або важкорозчинних сполук, що не пов’язані між собою;

– реакції з утворенням важкорозчинних добре закристалізованих солей.

Аналіз реакцій першої групи показує, що найбільш небезпечними у розчині, який контактує з бетоном, є катіони H^+, Mg^{2+}, Zn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Cu^{2+}, NH_4^+. Взаємодіючи з гідроксильними іонами порового електроліту, вони утворюють добре розчинні солі або незв’язані аморфні гідроксиди, що призводить до зниження pH порового електроліту і сприяє гідролізу продуктів гідратації цементу та розвитку деструктивних процесів.

У реакціях другої групи важливу роль відіграють реакції із сульфат-іонами, а найбільш небезпечними є сполуки з катіонами NH_4^+, Mg^{2+}, Zn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+} та Cu^{2+}. За агресивністю розчини цих солей можна порівняти з сірчаною кислотою.

Для класифікації хімічної корозії бетону використовують два підходи: за видом агресивного середовища та за механізмом агресивного впливу середовища на матеріал.

Найбільш небезпечною та поширеною є кислотна корозія, яка виникає під впливом на бетон розчинів мінеральних кислот, таких як HCl, H_2SO_4, HNO_3, H_2CO_3, а також органічних кислот: оцтової, мурашиної, масляної, щавлевої та інших. Ці процеси характерні для підприємств хімічної та харчової промисловості, а також під час впливу стічних вод.

Під впливом мінеральних кислот, таких як соляна, бетон розчиняється через утворення легкорозчинних сполук і швидко руйнується:

$$5CaO \cdot 6SiO_2 \cdot 5{,}5H_2O + 10\ HCl = 5CaCl_2 + 6SiO_2 + 10{,}5H_2O. \qquad (1.6)$$

Згідно з [4] при pH менше 4 жоден із звичайних видів цементу не витримує впливу кислих рідких середовищ. Звичайний портландцемент витримує вплив кислих вод з pH більше 6, за умови, що коефіцієнт фільтрації не перевищує 0,1 м/добу.

Таким чином, бетони на будь-яких видах цементу, що експлуатуються у водах з pH менше 6,5, термодинамічно нестійкі, хоча ступінь їхньої нестійкості може відрізнятися. Кисла вода (1%-й розчин H_2SO_4) виявилася агресивною для всіх мінералів цементного клінкеру, але за 3-4 тижні найбільше зруйнувалися зразки з C_3A, тоді як зразки з C_2S і C_3S ще зберігали форму і деяку міцність. Знижена стійкість продуктів гідратації C_3A спостерігається навіть у чистій воді.

Експерименти показали, що 1% розчини HCl, H_2SO_4, HNO_3 сильно роз'їдають бетон протягом кількох місяців. Фосфорна кислота менш агресивна щодо бетону через малу розчинність фосфату кальцію, що утворюється при

цьому. Проте при підвищенні концентрації фосфорної кислоти до 5% руйнування відбувається досить швидко.

Отже, продукти реакції цементного каменю з розчинами кислот із постійними концентраціями переважно розчиняються і виносяться потоком, а швидкість корозії визначається швидкістю підведення агресивного середовища і площею поверхні контакту з бетоном.

Особливим різновидом корозії другого типу є вуглекислотна корозія. Згідно з [4], показником агресивності цього виду корозії є вміст у воді агресивного вуглекислого газу (CO_2), який присутній у більшості ґрунтових і стічних вод. Якщо концентрація CO_2 знаходиться в межах 10-40 мг/л, для бетону з водонепроникністю W4 це середовище є слабоагресивним. При концентрації понад 40 мг/л, для бетону з W4 це середовище має середню агресивність, але неагресивне для бетону з водонепроникністю W8.

Вугільна кислота дисоціює у воді у два етапи:

$$\begin{aligned} H_2CO_3 &\leftrightarrow H^+ + HCO_3^-, \\ HCO_3^- &\leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}. \end{aligned} \qquad (1.7)$$

Частина вугільної кислоти, що утворюється шляхом розчинення вуглекислого газу, називається вільною, і її вміст у природних водах не перевищує 150 мг/л. Характер впливу води, що містить цю кислоту, залежить від таких факторів, як концентрація розчиненої вугільної кислоти, вміст іонів кальцію та бікарбонат-іонів, умови омивання конструкції та властивості бетону. Якщо бетон вже частково карбонізований, корозія проявляється в розчиненні карбонатної плівки на поверхні бетону.

$$CaCO_3 + H_2CO_3 = Ca^{2+} + 2HCO_3^- \qquad (1.8)$$

За певних умов може бути досягнута рівновага. Однак, якщо вода з розчиненою вільною кислотою рухається по відношенню до бетону, покритого карбонатною плівкою, і концентрації Ca^{2+} і HCO_3^- не збільшуються, карбонатна плівка легко розчиняється. Це робить вугільну кислоту агресивною як для бетону, так і для металів, використовуваних в арматурі залізобетонних конструкцій. Коли вміст вугільної кислоти у воді перевищує рівноважний рівень, у порах цементного каменю не утворюється карбонат кальцію з вапна і кислоти. Карбонат кальцію може утворитися лише при концентраціях кислоти нижче рівноважних. За даними [5], вода, яка містить понад 100 мг/л бікарбонат-іонів, практично не агресивна щодо бетону.

Характер контакту води, що містить вуглекислоту, також значно впливає на механізм взаємодії. Якщо вода не рухається або рухається повільно, між нею і твердою фазою цементного каменю може встановитися рівновага, і агресивна кислота частково зв’язується з утворенням бікарбонату, а інша частина залишається рівноважною, тобто неагресивною. Якщо ж вода рухається швидко, рівновага не встановлюється, і корозія розвивається постадійно до повного руйнування бетону. Вона може трохи сповільнитися лише за рахунок зменшення площі контакту бетону з агресивним середовищем.

При фільтрації через тіло бетону води, що містить вуглекислоту, спостерігається специфічний характер руйнування. Спочатку вода розчиняє $CaCO_3$, і цементний камінь поступово насичується бікарбонатом (зона руйнування). Потім гідроксид кальцію з бікарбонатом утворює важкорозчинний карбонат кальцію, який заповнює мікротріщини та капіляри бетону, ущільнюючи його (зона ущільнення). Позбавлена кислоти вода у наступній зоні вилуговує складові частини бетону, і процес корозії проходить за механізмом корозії першого типу.

Щоб захистити бетонні конструкції від руйнування під впливом вуглекислотної агресії, використовують глиноземистий цемент. Менш стійким у таких умовах є пуцолановий цемент, а звичайний портландцемент руйнується найшвидше. Додавання 25% тонкомолотого вапняку до складу

портландцементу значно підвищує його стійкість до вод з вмістом вуглекислоти.

Корозія в середовищі солей-коагулянтів. Корозійний процес бетону та залізобетону у розчинах деяких солей, утворених катіонами слабких основ і аніонами сильних кислот, протікає за загальнокислотною схемою. До таких солей належать $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, які широко використовуються як коагулянти на водопровідних станціях.

Агресивність концентрованих розчинів цих сполук щодо цементу проявляється в тому, що вони спричиняють дифузію іонів H^+, SO_4^{2-}, Al^{3+}, що призводить до значного зниження pH (до 3) порової рідини. Крім того, на поверхні бетону утворюються гідроксид алюмінію та гіпс, які постійно видаляються внаслідок гідродинамічного впливу. Хоча є необхідні складові для утворення ГСАК, він не утворюється через дуже низьке значення pH.

У розчинах коагулянтів з $pH \leq 4$ використання бетонів на звичайному портландцементі навіть із захистом недоцільне, тому застосовують кислотостійкі цементи підвищеної водостійкості на основі рідкого скла Na_2SiO_3 та кремнефтористого натрію з додаванням кислототривкого наповнювача, такого як діабаз, андезитовий порошок, мелений пісок тощо. Проте у нейтральних і лужних середовищах ці цементи використовувати не можна, і потрібно застосовувати карбонатні породи.

Бетон і залізобетон також руйнуються внаслідок взаємодії з різними газами. В умовах повітряно-сухої експлуатації агресивність газів щодо бетону є незначною. Проте, при підвищенні відносної вологості й температури навколишнього середовища, корозія може стати настільки небезпечною, що призведе до швидкого виходу з ладу всіх конструкцій будівлі. На відміну від корозії бетону та залізобетону в рідких агресивних середовищах, корозійні процеси арматури в газоповітряному середовищі зазвичай визначають швидкість руйнування конструкцій.

Механізм дії на бетон таких газів, як діоксид сірки, сірководень, хлористий водень, хлор та вуглекислий газ, полягає в наступному. Проникаючи в пори

бетону, газ спочатку нейтралізує гідроксид кальцію, а потім взаємодіє з гідросилікатами та іншими гідратними новоутвореннями цементу. Залежно від типу газу, утворюються або важкорозчинні сполуки, такі як гіпс, $CaCO_3$, або добре розчинні продукти, такі як $CaCl_2$ та інші.

Необхідні умови агресивного впливу газів на бетон включають підвищену відносну вологість атмосфери та відповідну рівноважну вологість бетону або утворення конденсату на його поверхні чи в товщі. Нижня межа відносної вологості, при якій вплив агресивних газів на бетон є безпечним, становить 40-45%. Це пояснюється тим, що через капілярно-пористу структуру бетону кількість вологи, яка утримується на поверхні пор і капілярів, недостатня для утворення двох або більше молекулярних шарів, які вже мають властивості рідкої вологи, оскільки її конденсований стан обумовлений силами адсорбції.

Для визначення корозійного стану порового електроліту відносно складових частин цементного каменю та арматурної сталі, які контактують з кислими газами, використовують рівноважні значення pH, наведені в таблиці 1.3.

Під впливом агресивних газів бетон можна розділити на три групи. Перша група включає CO_2, HF і фтористий кремній, які утворюють нерозчинні і важкорозчинні солі з цементним каменем у поверхневому шарі бетону, що колматує його пори. Це призводить до збільшення щільності бетону, зниження дифузійної проникності газів і уповільнення їхньої взаємодії з цементним каменем. Найбільший інтерес серед цих газів викликає CO_2, який зустрічається в атмосферному повітрі у концентрації до 0,03% і може перевищувати 0,1% у промислових середовищах. Цей постійний фактор сприяє процесу карбонізації бетону, незалежно від наявності інших газів у повітрі, що робить карбонізацію одним із ключових процесів, що впливають на швидкість нейтралізації бетону під дією кислих газів. Інші кислі гази, зазвичай, вже взаємодіють з частково карбонізованим зовнішнім шаром бетону.

Таблиця 1.3 – Види продуктів корозії змінюються в залежності від кислотності (pH) середовища [4]

Вид газу	Продукт корозії	Значення pH
SO_3	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	7,2
H_2S	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	7,2
CO_2	$CaCO_3$	8,5

Карбонізація збільшує міцність бетону на 40-70%, знижує пористість і водопоглинання на 5%, але супроводжується усадкою до 1,6 мм/м без утворення тріщин. Тому для бетону CO_2 вважається безпечним. Але для залізобетону вуглекислий газ є агресивним, оскільки він реагує з гідроксидом кальцію і продуктами гідратації цементу, що знижує pH порового електроліту з 12,6-13 до 8,5-9, що небезпечно для пасивності арматурної сталі, яка забезпечується при pH > 11,8.

Друга група включає діоксид сірки і сірководень, які утворюють важкорозчинні кальцієві солі з бетоном. Це призводить до утворення двоводного гіпсу, що збільшує обсяг вихідних продуктів приблизно вдвічі і спричинює значні напруження і тріщини в захисному шарі бетону. Тому діоксид сірки і сірководень є небезпечними для бетону, особливо для арматурної сталі, що призводить до більш інтенсивного зниження pH до 8 і утворення нейтралізаційної зони поверхневого шару бетону глибиною до 10 мм або більше.

Третя група включає в себе хлористий водень, молекулярний хлор, пари йоду і брому, а також оксиди азоту, які утворюють легкорозчинні солі з гідроксидом кальцію. Для арматурної сталі найбільш небезпечними є галогеновмісні гази (HCl і Cl_2). Наприклад, при вологості повітря 60% і концентрації HCl 10 мг/л через 10 місяців експлуатації конструкції починається руйнування бетону, глибина нейтралізації досягає 8 мм, а pH впадає нижче 7. Оксиди азоту утворюють кальцієві солі, які не сприяють корозії арматурної сталі, але знижують pH і депасивують сталь у залізобетонних конструкціях.

Вибір складів бетону і методів захисту від корозії здійснюється згідно з [4], враховуючи ступінь агресивності газів по відношенню до бетону і залізобетону:

– для слабкоагресивних середовищ рекомендується застосовувати бетон з захисним шаром товщиною не менше 20 мм у залізобетонних конструкціях і марку бетону з водонепроникністю не нижче W4;

– для середньоагресивних середовищ товщина захисного шару бетону повинна складати 20 мм, а марка бетону за водонепроникністю - не нижче W6;

– для сильноагресивних середовищ товщина захисного шару бетону повинна бути не менше 25 мм, а марка бетону за водонепроникністю - не нижче W8.

Крім того, рекомендується використовувати лакофарбові покриття залежно від ступеня агресивності:

– для слабкоагресивних середовищ - лакофарбові покриття першої і другої груп з товщиною від 0,1 до 0,15 мм;

– для середньоагресивних середовищ - лакофарбові покриття другої групи з товщиною від 0,15 до 0,2 мм;

– для сильноагресивних середовищ - лакофарбові покриття третьої групи з товщиною від 0,2 до 0,25 мм.

Лакофарбові покриття різних груп включають алкідні, масляні, нітроцелюлозні, полімерцементні, органосилікатні, полівінілацетатні та інші типи в залежності від вимог до захисту від корозії [12].

2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ МОНІТОРІНГУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ В УМОВАХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

2.1 Теоретичні аспекти моніторингу залишкового ресурсу промислових об'єктів

Моніторинг залишкового ресурсу промислових об'єктів є ключовим для забезпечення безпечної та ефективної експлуатації обладнання. Це особливо важливо для підприємств, що працюють в умовах агресивних середовищ, де хімічні, фізичні та біологічні фактори можуть значно скоротити термін служби обладнання .

Залишковий ресурс промислового обладнання визначає можливість його подальшої експлуатації без ризику для безпеки та ефективності. Моніторинг залишкового ресурсу дозволяє вчасно виявити критичні зміни в стані несучих конструкцій та обладнання, прогнозувати терміни їх виходу з ладу та планувати технічне обслуговування [1].

Агресивні середовища, включаючи хімічні, фізичні та біологічні фактори, можуть значно впливати на будівельні матеріали та конструкції обладнання. Хімічні фактори включають корозійні рідини та гази, фізичні – високі температури, тиск та радіацію, біологічні – мікроорганізми, що викликають біокорозію.

Вплив агресивних середовищ, в яких експлуатуються промислові підприємства в Україні, може призводити до корозії металів та інших матеріалів, зниження механічної міцності конструкцій і погіршення ізоляційних властивостей.

Існує багато активних речовин у навколишньому середовищі, які є агресивними до будівельних матеріалів, що призводить до різноманітних корозійних процесів. Це створює потребу в класифікації корозійних впливів

залежно від виду середовищ експлуатації будівельних виробів та конструкцій, з урахуванням техніко-економічних чинників, пов’язаних із термінами служби будівель та споруд [2].

Агресивні середовища класифікують за їх фізичним станом на рідкі, тверді та газоподібні. Важливо враховувати особливості дії та загальну характеристику самих агресивних середовищ, оскільки корозійні процеси у твердому та газоподібному середовищах фактично починаються і протікають лише за наявності рідкої фази. Тому особливу увагу слід приділити рідким середовищам [3].

Вибір методів моніторингу залежить від конкретних умов експлуатації обладнання та типу агресивного середовища. На практиці часто використовуються комплексні підходи, що включають кілька методів одночасно.

На промислових підприємствах моніторинг залишкового ресурсу може здійснюватися як власними силами, так і із залученням спеціалізованих організацій. Важливим аспектом є регулярність проведення моніторингу та своєчасність реагування на виявлені проблеми.

Для покращення ефективності моніторингу необхідно регулярно оновлювати знання про сучасні методи діагностики, використовувати комплексний підхід та впроваджувати новітні технології.

Для продовження залишкового ресурсу обладнання важливо дотримуватися наступних стратегій:

– профілактичне обслуговування та ремонт, що включає своєчасне виявлення та усунення дефектів;

– використання нових матеріалів та технологій, що мають підвищену стійкість до агресивних середовищ;

– оптимізація режимів експлуатації, що знижує навантаження на обладнання та подовжує його ресурс.

Моніторинг залишкового ресурсу є важливою складовою управління промисловими підприємствами, особливо в умовах агресивних середовищ.

Застосування сучасних методів і технологій дає можливість своєчасно виявляти критичні зміни в стані обладнання, що підвищує його безпеку та ефективність.

Аналіз технічного стану будівель і споруд, що були побудовані у 1950-2000 роках, показує, що їх утримання не відповідає належному порядку та системі, яка б забезпечувала кваліфіковану експлуатацію, технічну діагностику, своєчасний ремонт та реновацію, а також запобігала б аваріям. Це важливо для збереження національного надбання і запобігання негативному впливу на екологічний стан довкілля.

За останні роки і до теперішнього часу на промислових підприємствах, які експлуатуються в умовах впливу агресивних сталося тисячі аварій, багато з яких супроводжувалися людськими жертвами. Значна частина цих аварій була спричинена старінням несучих будівельних конструкцій.

Основу фонду металевих конструкцій України складають конструкції промислових будівель. Їх загальна маса перевищує 12,2 млн тонн, що становить 35% від усієї маси металевих конструкцій, які експлуатуються сьогодні. Сучасний потенціал українських заводів металоконструкцій дозволяє щорічно виробляти до 500 тис. тонн металоконструкцій різного призначення.
Тому забезпечення надійної роботи споруди протягом встановленого терміну експлуатації є складним і многогранним завданням. Це пояснюється тим, що будівельні споруди є складними системами зі складною внутрішньою структурою. Крім того, зовнішні впливи на споруди і їх окремі конструкції відрізняються значною різноманітністю як за характером навантажень, так і за часовими характеристиками. Наприклад, посудини для зберігання рідин піддаються переважно однотипним навантаженням у часі, таким як тиск рідини, тоді як будівлі викладаються одночасно на багато різних типів навантажень, включаючи динамічні, кліматичні та технологічні.

На рисунку 2.1 вказана структура галузі сталевих конструкцій та відсотки металевих конструкцій по галузям: ЧЦМ - чорна і кольорова металургія; МАШ - машинобудування; УНН - вугільна, нафтова і нафтохімічна промисловість; ЕЕ - електроенергетика; МС- транспорт і зв'язок; ІО - інші галузі.

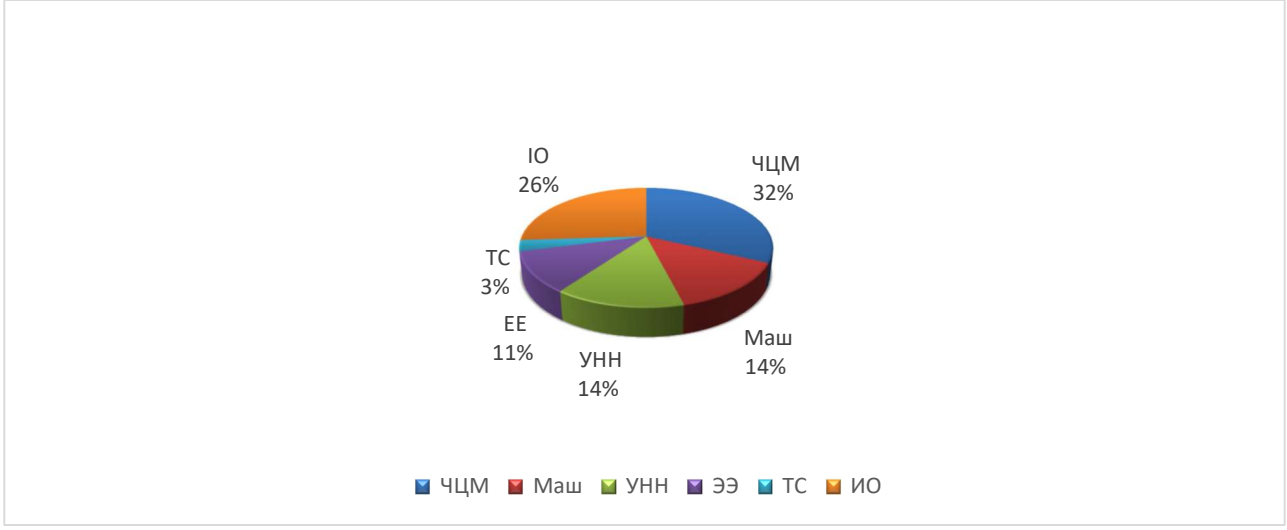


Рисунок 2.1 – Структура галузі сталевих конструкцій та відсотки металевих конструкцій по галузям: ЧЦМ - чорна і кольорова металургія; МАШ - машинобудування; УНН - вугільна, нафтова і нафтохімічна промисловість;
ЕЕ - електроенергетика; МС- транспорт і зв'язок; ІО - інші галузі).

Великим фактором, що впливає на ресурс конструкції, є значне відхилення фактичних навантажень та умов експлуатації споруди від прогнозованих значень. Недооцінка цих відхилень під час проектування може призвести до аварійних ситуацій.

Отже, оцінка та обґрунтування залишкового ресурсу експлуатованих конструкцій потребує знання не лише розрахункових параметрів їх напружено-деформованого стану, але й урахування зовнішніх впливів і відповіді конструкцій на них. Це можливо лише через експериментальне визначення характеристик об'єкту. Умови експлуатації передбачають застосування апаратно-програмних засобів технічної діагностики, які дозволяють збирати, обробляти і аналізувати дані про вплив на конструкції та їх відповідь на ці впливи.

Ресурс конструкцій, що піддаються впливу змінних навантажень у часі, визначається числом циклів навантаження, при яких конструкція перестає відповідати вимогам граничних станів. Це визначення в першу чергу залежить від типу зовнішнього впливу (технологічний, кліматичний, сейсмічний та інші).

Оскільки в Україні основними видами зовнішніх впливів є кліматична вітрова дія та технологічні впливи, то розрахунок числа циклів навантаження і, відповідно, оцінка залишкового ресурсу конструкцій може здійснюватись експериментально, з використанням розробленої системи технічної діагностики.

У таких умовах розробка обґрунтованих прогнозних моделей для оцінки ресурсу експлуатованих конструкцій на тривалий період практично неможлива. Проте важливо і необхідно проводити якісну оцінку залишкового ресурсу для прийняття рішень щодо можливості, тривалості і вартості подальшої експлуатації споруди в майбутньому. Важливим результатом такої оцінки є також визначення комплексу робіт, необхідних для підтримки технічного стану об'єкту.

Надійність конструкції забезпечується на стадіях проєктування, виготовлення, транспортування, збирання, монтажу і експлуатації. Такий тривалий процес доексплуатаційних стадій життєвого циклу призводить до того, що на початку основного етапу - експлуатації - конструкції вже мають певний рівень накопичених пошкоджень, що впливає на їх залишковий ресурс.

Дослідження вчених вказують, що значна частина аварій, дефектів і пошкоджень відбувається на етапі будівельно-монтажних робіт, що пов'язано з відсутністю операційного контролю під час монтажу конструкцій. На другому місці знаходяться дефекти матеріалів і конструкцій, отримані в домонтажний період.

Інші дослідження вказують, що 31% усіх дефектів виникають під час виконання будівельно-монтажних робіт, причому у 77% випадків це пов'язано з порушенням вимог нормативних документів. Узагальнений аналіз аварійних і передаварійних ситуацій світової практики дозволив виявити такі основні причини:

– помилки проєктування (27%);

– помилки виготовлення (23%);

– помилки під час виконання будівельно-монтажних робіт (30%);

– порушення умов технічної експлуатації будівель і споруд (14%);

– недосконаліть норм проєктування (6%).

Теоретичні аспекти досліджень включають розробку методів і технік для розрахунку і проєктування конструкцій будівель на основі постійного поглиблення розуміння основних законів роботи матеріалів, перерізів, елементів, з'єднань, конструкцій і будівель.

Експериментальні аспекти дослідження значно доповнюють і розширюють наші знання про роботу елементів, з'єднань, конструкцій і будівель, отримані теоретичним шляхом на основі різних концепцій.

Отже, підвищення надійності будівельних металоконструкцій на сучасному етапі їх розвитку можливе лише за умови повної інтеграції результатів досліджень на всіх згаданих етапах.

Дослідження експлуатаційного стану можна проводити двома методами: статистичним і діагностичним.

Статистичний метод полягає у зборі статистичних даних про поведінку конструкцій протягом їх життєвого циклу, включаючи параметри дефектів, ушкоджень, деградації матеріалів, інформацію про зовнішні навантаження та інші впливи.

Діагностичний метод відрізняється тим, що в процесі експлуатації конструкцій за допомогою спеціалізованих апаратно-програмних засобів здійснюються виміри реальних параметрів напружено-деформованого стану конструкцій і зовнішніх впливів. На основі цих даних можливо отримати фактичну інформацію про технічний стан конструкцій. Проведення регулярних або постійних вимірів дозволяє накопичити достатньо інформації для оцінки залишкового ресурсу і, в ідеалі, для прогнозування технічного стану споруд.

Тому використання статистичного методу для аналізу експлуатаційного стану конструкцій є ключовим аспектом загальної оцінки і, крім того, сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо стратегії і тактики застосування діагностичного методу [15] (рисунок 2.2) .

Впровадження сучасних технічних засобів для оцінювання міцності, ризику руйнування та залишкового ресурсу дефектних елементів відповідальних конструкцій трубопровідних систем, зокрема наземних ділянок газопроводів, є важливою проблемою для української інженерної практики. Тому після монітрингу залишкового ресурсу в умовах агресивних середовищ буде можливість надання обґрунтованих експертних висновків щодо ризику руйнування та безпечної експлуатації елемента трубопроводу безпосередньо на місці його діагностики.



Рисунок 2.2 – Моніторинг залишкового ресурсу в умовах агресивних середовищ [15]

Основним методом отримання первинних даних про стан контрольованих об'єктів є неруйнівне ультразвукове діагностування елементів трубопроводу. Варто зазначити, що сучасні цифрові ультразвукові дефектоскопи є портативними і дозволяють виконувати роботи в польових умовах без необхідності виведення трубопроводів з експлуатації. Тому як основне

джерело отримання інформації про дефекти трубопроводу за допомогою дефектоскопу. Дефектоскоп оснащений рядом програмних інструментів, які дозволяють оперативно оцінювати розміри дефектів та визначати їхнє розташування на основі даних дефектоскопії.

Важливою особливістю дефектоскопу є можливість підключення його до персонального, зокрема портативного, комп'ютера. Це дозволяє автоматично передавати результати сканування в комп'ютер зі збереженням їх у централізованій базі даних для подальшого аналізу та обробки. Маючи результати вимірювань та аналізу, отримані у різні моменти часу протягом періоду моніторингу об'єктів, оператор може відслідковувати зміни характеристик та стану конструкції з часом. Це дозволяє прогнозувати розвиток процесів деградації та тривалість збереження робочих властивостей різних ділянок, а також конструкції в цілому [15].

Схема технічної діагностики та оцінювання ризику руйнування елемента трубопроводу наведена на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Схема технічної діагностики та оцінювання ризику руйнування елемента трубопроводу

2.2 Вибір огороджувальних конструкцій для будівництва промислових об’єктів в умовах агресивного середовища

Для промислових підприємств будівлі, конструкції яких піддаються впливу середовищ з підвищеною агресивністю, необхідно використовувати сендвіч-панелі, вентильовані фасади, несучі профнастили та іншу продукцію з тонколистової сталі з високою стійкістю до корозії (рисунок 2.4).

Стандарт ДСТУ ISO 12944-2 визначає шість категорій корозійної активності, які відображають умови зовнішнього або внутрішнього середовища. Для середньої, високої та екстремальної категорій рекомендується індивідуальний вибір матеріалів та покриттів огороджувальних конструкцій з урахуванням всіх чинників впливу та умов експлуатації, що визначає їхню довговічність.



Рисунок 2.4 – Вибір матеріалів та покриттів огороджувальних конструкцій

Неправильний вибір типу і товщини полімерного покриття на обшивці сендвіч-панелей у дуже агресивному середовищі може спричинити наскрізну корозію та призвести до їхнього руйнування лише за кілька років експлуатації (рисунок 2.5 - 2.8).

Категорії атмосферної корозійної агресивності та типові середовища відповідно до ДСТУ ISO 12944-2:

– дуже слабка (С1): типові середовища – сухе внутрішнє приміщення, лабораторія;

– слабка (С2): типові середовища – сухе внутрішнє приміщення з періодичними змінами вологості, офіс, житлові приміщення без конденсації;

– середня (С3): типові середовища – промислові будівлі з помірною вологістю і забрудненням, періодична конденсація;

– висока (С4): типові середовища – хімічні заводи, установи з високим рівнем забруднення і агресивністю, постійна конденсація;

– дуже висока (С5): типові середовища – морські умови, морські порти, промислові об'єкти в агресивних місцевостях;

– екстремальна (СХ): типові середовища – особливо агресивні умови, наприклад, хімічні заводи з високим рівнем агресивних газів або дуже високим ступенем забруднення.

Ці категорії дозволяють підібрати відповідні захисні заходи для забезпечення тривалої експлуатації огороджувальних конструкцій у різних умовах.

Під час початкових етапів проєкту заповнюється анкета, в якій вказуються загальні характеристики будівлі, особливості технології і відомі параметри зовнішнього та внутрішнього середовищ, а також передбачувані технологічні процедури.

При необхідності виконується моніторінг промислового підприємства де на об'єкті з використанням сучасних методів вимірювання, під час яких визначаються наступні параметри:



Рисунок 2.5 – Корозія обшивки огороджуючих конструкцій сендвіч-панелей в умовах агресивного середовища



Рисунок 2.6 – Корозія огороджуючих конструкцій сендвіч-панелей в умовах агресивного середовища



Рисунок 2.7 – Корозія огороджуючих конструкцій сендвіч-панелей в умовах агресивного середовища в умовах агресивного середовища внаслідок неправильно підібраного матеріалу



Рисунок 2.8 – Пошкодження полімерного покриття профнастилу від корозії ферм в умовах підвищеної вологості через неправильний вибір покриття

– температура і вологість повітря, тривалість і циклічність їх впливу;

– забрудненість середовища, включаючи наявність та концентрацію кислот, лугів або інших агресивних речовин;

– наявність і частота додаткової обробки конструкцій мийними чи дезінфікуючими засобами.

Для забезпечення довговічності матеріалів з тонколистової сталі у процесі проєктування огороджувальних конструкцій важливо консультуватися з кваліфікованим постачальником. Вибір огороджувальних конструкцій, які працюють в агресивних середовищах, здійснюється індивідуально і, зазвичай, включає в себе аналіз характеристик середовища, оптимальний вибір матеріалів і кріплень, а також розробку конструктивних деталей.

Після аналізу результатів моніторингу огороджуючих конструкцій промислового підприємства потрібно надати рекомендації щодо оптимального захисту сталевих фасадів та покрівельних конструкцій, враховуючи наступні параметри:

– марка та товщина сталі: для несучих і огороджуючих конструкцій рекомендується використовувати сталі з гарантованою межею плинності (S280-S350, AISI 304, AISI 316 та інші) і уникати сталі типу DX. Товщина сталі з покриттям для середовищ середньої та високої агресивності повинна бути не менше 0,5 мм. Для таких умов підходять нержавіюча сталь або атмосферостійка сталь Кортен;

– ступінь оцинкування: використання оцинкованої сталі з цинковим покриттям від Zn275 до Zn600 рекомендується для захисту від корозії. Товщина цинкового покриття прямо пропорційна стійкості до корозії, при цьому максимальний термін служби оцинкованої сталі без полімерного покриття може досягати 80 років з покриттям Zn600;

– полімерне покриття: для сильно агресивних середовищ рекомендується використовувати покриття, які мають високу стійкість до корозії, такі як Pural, Hiarc та FoodSafe [15].

Товщина покриття може варіюватись від 27 мкм для Hiarc до 120 мкм для ламінату FoodSafe. Найбільш розповсюджені покриття, такі як Поліестер, не рекомендується використовувати для сильно агресивних середовищ.

Розробка конструктивних рішень для експлуатації сталевих фасадів та покрівлі в агресивних середовищах передбачає високі вимоги до примикання конструкцій, герметичності стиків, системи водовідведення та інших аспектів. Фахівці компанії Rauta [15] розробляють докладні проєкти необхідних конструктивних рішень, враховуючи технологічні особливості будівлі, такі як вібрація, електромагнітні навантаження та інші, з метою забезпечення тривалої експлуатації об’єкту. Враховуються також високі естетичні та теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій.

На рисунку 2.9 наведена конструкція проєктування спеціального з'єднання сендвіч-панелей для вертикального монтажу

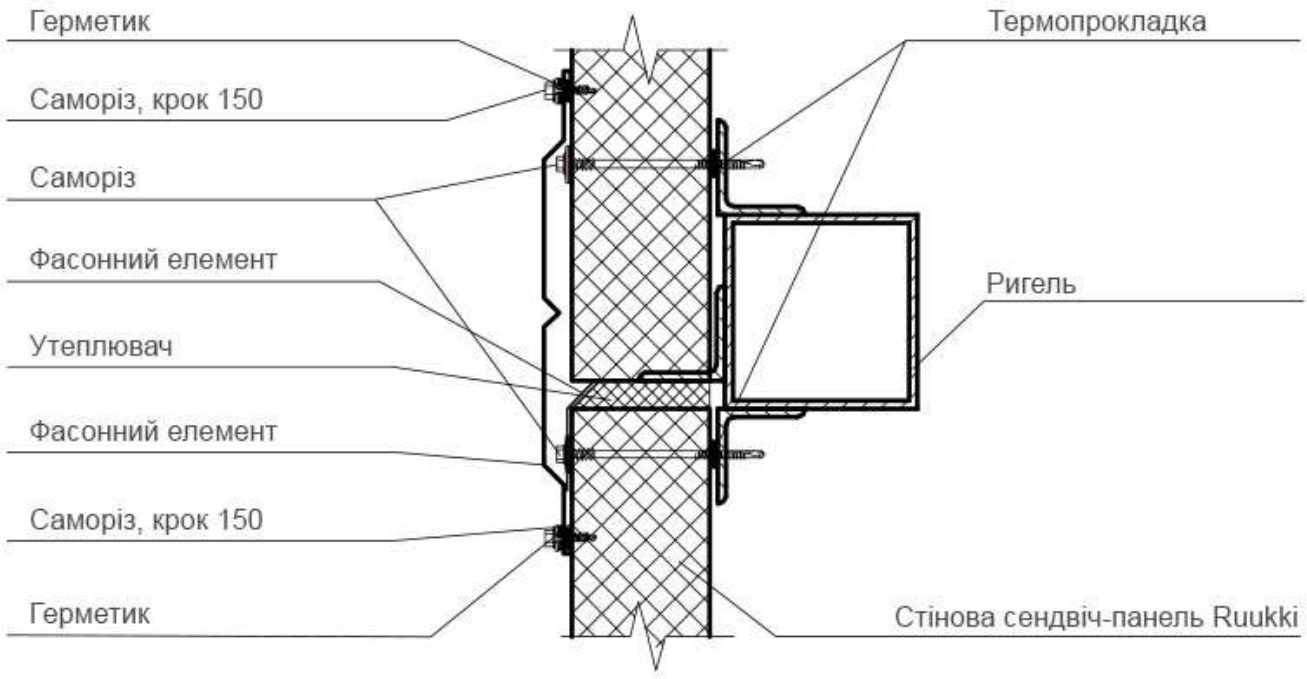


Рисунок 2.9 – Проєктування спеціального з'єднання сендвіч-панелей для вертикального монтажу [15]

2.3 Моніторінг технічного стану конструкцій промислових об’єктів, які експлуатуються в умовах агресивних середовищ

Основними факторами, що впливають на процеси корозійного руйнування конструкції в агресивному середовищі і потребують обов'язкового визначення, є:

– хімічний та мікробіологічний склад;

– вологість та температура;

– кількість та хімічний склад пилу;

– частота небезпечних виливів та тривалість їх контакту з конструкцією;

– властивості агресивних рідин тощо.

Ступінь агресивності середовища визначають відповідно до вимог [13, 17].

Моніторинг залишкового ресурсу будівельних конструкцій естакади технологічних трубопроводів в районі аглофабрики, в районі АБК доменного цеху та в районі ТЕЦ-ПВС в м. Запоріжжя.

Будівельні конструкції ділянки естакади технологічних трубопроводів тривалий час піддавалися негативному впливу агресивного середовища, характерного для території діючого металургійного підприємства.

До негативних чинників слід віднести:

– систематичне замочування атмосферними опадами;

– дія технологічного пилу;

– динамічні впливи від близько розташованих залізничних шляхів з високою інтенсивністю руху;

– наявність просідаючих ґрунтів в основі фундаментів.

Об'ємно-планувальні і конструктивні характеристики об'єкта. Будівництво ділянок естакади трубопроводів у районі АБК доменного цеху було виконане у 1950-55 роках минулого століття за кресленнями Запорізької філії інституту «Укргіпромез». На цій ділянці естакада виконана у вигляді окремо розташованих опор - плоских і просторових. Плоскі опори виконані з

прокатних гарячекатаних швелерів і двутаврів, які з'єднані двоплощинними гратами з гарячекатаних куткових профілів. Просторові опори виконані з гарячекатаного кутового профілю, з системою вертикальних і горизонтальних зв'язків і гратчастими діафрагмами для забезпечення просторової жорсткості конструкції. Спирання окремих гілок на фундамент - шарнірне.

В процесі експлуатації на цій ділянці додавалися нові опори, а також здійснювалося нарощування і підсилення окремих опор у зв'язку з прокладанням нових технологічних трубопроводів під час реконструкції агломераційного цеху комбінату

Фундаменти – стовпчасті, на природній основі. Глибина закладення фундаментів естакади варіюється від -1,5 м до -2,0 м від поверхні землі.

Ділянка естакади в осях І-М проходить по колонах відкритої естакади крана, побудованої за кресленнями ГП «Укргіпромез» у 1993 році. У 1995 році було змонтовано кронштейни на опорі по осі М, встановлено опору по осі 402а та виконано підсилення опори по осі 402. На момент обстеження в осях М-402 змонтований трубопровід діаметром 1220 мм з ходовим містком.

Ділянка естакади в осях 4-7, 2-7 в районі ТЕЦ-ПВС була побудована на початку 90-х років минулого століття за проєктом, що розроблен Запорізькою філією інституту «Укргіпромез». На цій ділянці естакада виконана у вигляді опор (плоских і просторових), з'єднаних пролітними конструкціями – фермами з гарячекатаних куточків, які об'єднані системою вертикальних і горизонтальних зв'язків у просторові блоки. Проліт ферм становить 24-38 м. Стійкість ділянок естакади, що підлягає моніторингу, в поперечному напрямі забезпечується затисканням у фундаменти плоских гратчастих опор, а в подовжньому напрямі - анкерними опорами.

Інженерно-геологічні умови майданчика будівництва складається з горизонтів суглинків льосових палево-бурих та бурих, від тугопластичної до напівтвердої консистенції. Льосові палево-бурі суглинки мають різну вологість, що свідчить про неоднорідне зволоження ґрунтів при інфільтрації. Ґрунти відносяться до І-го типу за просіданням.

Ґрунтові води розташовані на глибині 2,9-3,7 м від поверхні землі. За хімічним складом ґрунтові води мають сульфатну агресію і є середньоагресивними до бетону підвищеної щільності та слабоагресивними до особливо щільного бетону. З урахуванням сезонних коливань та можливих витоків виробничих вод рівень ґрунтових вод може підвищуватися на 1,0 м від зафіксованого свердловинами під час буріння.

Фундаменти – стовпчасті, на природній основі. Глибина закладення фундаментів естакади становить від -1,5 м до -2,0 м від поверхні землі.

Програма робіт з моніторингу технічного стану конструкцій промислових підприємств, які експлуатуються в умовах агресивних середовищ включає:

1. Збір і обробку технічної документації по об'єкту обстеження.

2. Натурні обміри будівельних конструкцій, аналіз виконаних у натурі вузлів будівельних конструкцій, порівняння з проектними рішеннями.

3. Визначення міцнісних характеристик матеріалів конструкцій, що мають значення для подальшого ремонту та реконструкції.

4. Складання дефектних відомостей ушкоджень будівельних конструкцій.

5. Аналіз ушкоджень будівельних конструкцій і їх класифікація відповідно до чинних нормативних документів.

Моніторинг будівельних конструкцій проводився неруйнівним методом, шляхом візуального огляду за допомогою інструментів: біноклі, щупи, лінійки, рулетки. Приладів і апаратури: лазерний далекомір «Bosh», прилад для вимірювання міцності бетону ІПС-МГ4.03, прилад для контролю арматури залізобетонних конструкцій ІПА-МГ4, товщиномір ультразвуковий УТ-98 «Скат».

У ході обмірних робіт було уточнено фактичні геометричні параметри будівельних конструкцій і їх елементів для визначення їх відповідності проєктній документації.

Візуальне і інструментальне обстеження включало виявлення дефектів і ушкоджень, що знижують експлуатаційну придатність і несучу здатність як окремих конструктивних елементів, так і всієї споруди в цілому, з подальшою

класифікацією технічного стану відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Були виявлені відхилення від вертикалі окремих опор: вісь 444 - 200-300 мм, вісь 445 - 150 мм, вісь 446 - 100-150 мм, вісь 455а - 150-200 мм.

Можливою причиною цих деформацій є зволоження ґрунтів основи через протікання водонесучих комунікацій (у цих осях проходить існуючий тунель), а також динамічні впливи від поруч розташованих залізничних шляхів.

Виходячи з аналізу вивчених архівних матеріалів та результатів візуального огляду окремих конструкцій, технічний стан фундаментів класифіковано як задовільний (II) згідно з [14].

Опори естакади. У ході візуального обстеження опор естакади були виконані наступні види робіт:

– натурні обміри конструкцій для визначення і уточнення їх геометричних розмірів;

– визначення фактичної товщини металопрокату інструментальними методами, порівняння отриманих даних з проектними рішеннями;

– фіксація ушкоджень, отриманих під час експлуатації конструкцій.

Схема розташування опор естакади наведена на рис.2.9. Всього було обстежено 39 сталевих опор естакади осі 402а, 402, 433-455а, а також колони відкритої естакади крана (2 шт.) в осях І-М.

За результатами вимірів встановлено, що перерізи конструктивних елементів опор переважно відповідають проекту. Перерізи конструктивних елементів опор К23 по осі 402а та К24 по осі 402 виконані з відступом від проєкту. На момент обстеження, бази опор естакади в осях І-402а, 402 в районі аглофабрики та в осях 433-455а в районі АБК доменного цеху обетоновані на висоту 600-800 мм і не доступні до огляду.

Виявлені ушкодження класифіковані за наступними ознаками:

– механічні ушкодження є результатом ударних дій на елементи колон автотранспортом, вантажами, що транспортуються, а також через використання існуючих конструкцій для підвіски блоків і спирання домкратів

під час проведення ремонтних робіт. До таких ушкоджень відносяться: локальні погнутості або викривлення всього елементу в цілому, руйнування вузлів кріплення розпірок, розкосів грат колон, вирізи в ребрах жорсткості;

– силові ушкодження – деформації стислих елементів колон, які свідчать про перевантаження конструкції колон у вузлах з'єднань;

– місцеві корозійні ушкодження металу стінок і полиць колон на рівні землі.

У процесі обстеження були виявлені наступні характерні дефекти та ушкодження:

– через нерівномірні просідання основи нахилені опори: К11, вісь 444 на 200-300 мм; К12, вісь 445 на 150 мм; К13, вісь 446 на 100-150 мм; К22, вісь 455а на 150-200 мм;

– вирізана частина конструкції підкосу колони К-2, траса в осях 2-7 (фото №11 Додаток А);

– локальні погнутості елементів опор (характерне ушкодження);

– відсутність елементів діафрагми опори К-2, траса в осях 2-7 (фото №10 Додаток А);

– деформації елементів опор внаслідок механічних ударних дій;

– зминання та розминання профілів (характерне ушкодження, фото №12 Додаток А);

– руйнування зварного шва кріплення елементів до фасонки (характерне пошкодження, фото №15 Додаток А);

– руйнування зварних швів кріплення проміжних прокладок складених елементів конструкцій опор естакади (характерне ушкодження, фото №16 Додаток А);

– місцеві корозійні ушкодження металу стінки, опорної плити і полиць опор на рівні землі (фото №8, 24 Додаток А);

– скупчення ґрунту і технологічного пилу у базах опор.

Технічний стан конструкцій опор естакади, що отримали ушкодження, згідно з [14] класифіковано як обмежено працездатне.

Технічний стан усіх інших опор, у тому числі і колон відкритої естакади крана в осях І-М, згідно з [14] класифіковано як працездатне.

Пролітні будови естакади (осі 2-7). У ході обстеження пролітних будов були виконані наступні види робіт:

– натурні обміри конструкцій, порівняння з проєктними даними;

– визначення фактичної товщини металопрокату інструментальними методами, порівняння отриманих даних з проєктними даними;

– фіксація ушкоджень, отриманих під час експлуатації конструкцій.

Виявлені ушкодження класифіковані за такими ознаками:

– механічні ушкодження, що виникли внаслідок ударних дій на елементи грат і поясів пролітних конструкцій ферм автотранспортом, вантажами, що транспортуються, під час виконання будівельно-монтажних робіт, а також через порушення в технології виготовлення цих конструкцій. До таких ушкоджень відносяться локальні погнутості або викривлення всього елемента, руйнування вузлів кріплення розпірок, розкосів вертикальних і горизонтальних зв'язків;

– силові ушкодження – деформації стислих елементів грат пролітних ферм, що свідчать про перевантаження конструкції у вузлах з'єднань;

– місцеві корозійні ушкодження внаслідок скупчення пилу на елементах та руйнування лакофарбного покриття.

Всього було обстежено 5 пролітних будов (просторових блоків) в осях 2-3, 3-4, 4-5, 5-6 і по осі 7.

За результатами вимірів встановлено, що перерізи конструктивних елементів опор в основному відповідають проекту. У ході обстеження були виявлені такі дефекти та ушкодження:

– ферми Ф4, Ф5 – зміщення опорного вузла блоку ферм відносно проєктного положення до 100 мм внаслідок дефекту монтажу конструкцій

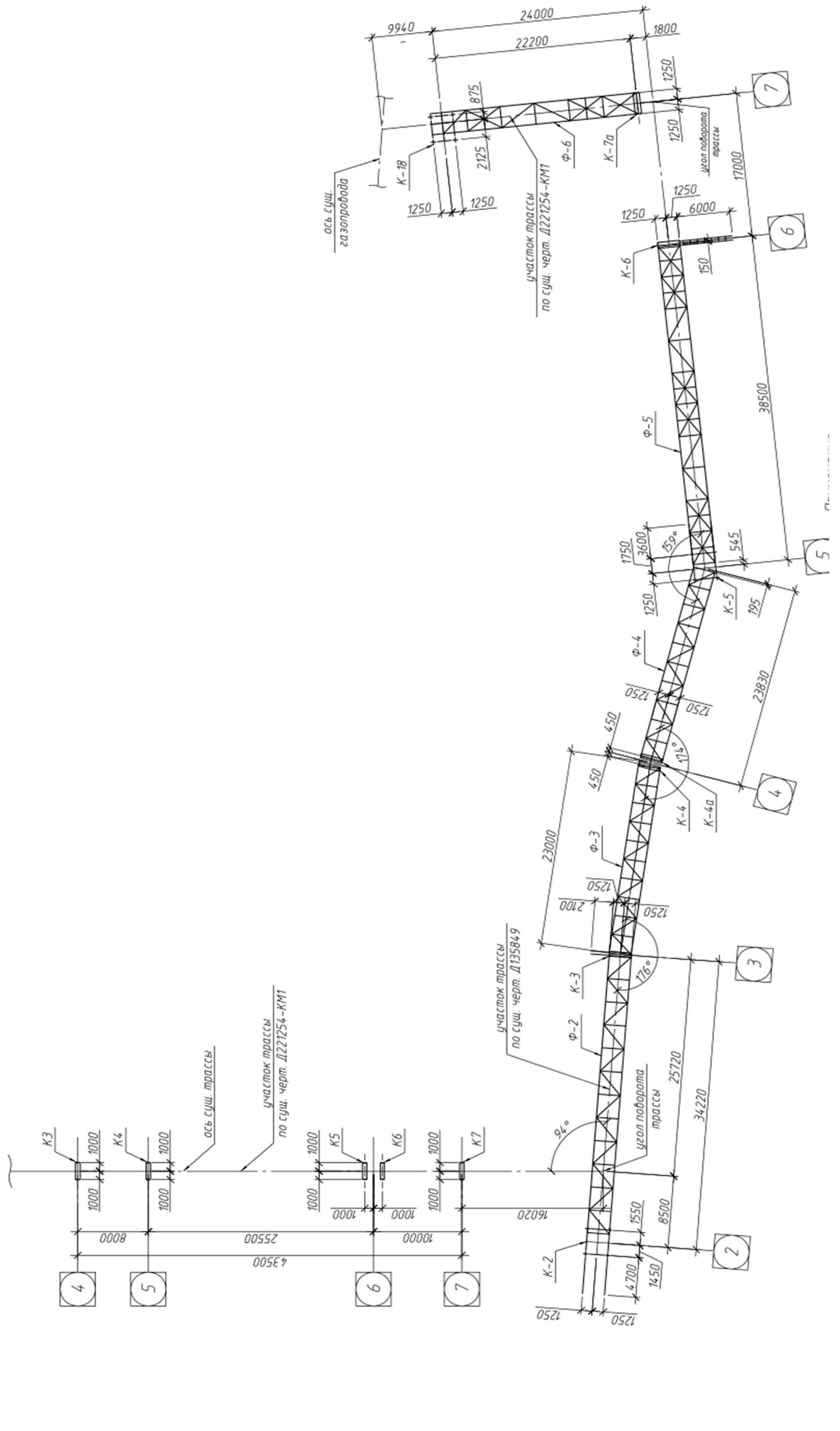


Рисунок 2.10 – Опори естакади в осях 4 - 7, 2 – 7, які були обстежені під час моніторингу

(фото №23 Додаток А);

– ферми Ф2…Ф5 – руйнування зварних швів кріплення проміжних прокладок складових елементів конструкцій пролітної будови (у нижньому і верхньому поясі ферм, у вертикальних і горизонтальних зв'язках по нижньому і верхньому поясу) – характерне ушкодження, дефект виготовлення конструкцій (фото №2 Додаток А);

– ферми Ф2…Ф5 – руйнування зварного шва кріплення фасонного елемента до гілки горизонтального і вертикального зв'язку – характерне ушкодження, дефект виготовлення конструкцій (фото №1 Додаток А);

– ферма Ф5 – вирізана частина елемента зв'язку в місці приварювання до фасонки (механічне ушкодження), недостатня довжина зварного шва, дефект монтажу конструкцій (фото №4 Додаток А);

– ферма Ф4 – руйнування зварного шва кріплення зв'язкового елемента траверси ферми до фасонки; погнутість вузлової фасонки – дефект монтажу конструкцій (фото №3 Додаток А).

Як показують результати виконаного обстеження, виявлені дефекти та пошкодження будівельних конструкцій естакади в районі Аглофабрики та в районі АБК доменного цеху в основному є наслідком їх тривалої експлуатації (близько 60 років) у складних умовах дій металургійного виробництва, при постійному впливі в умовах агресивних середовищ – агресивних газів, пилу та атмосферних опадів.

Характерними дефектами конструкцій на даній ділянці є:

– руйнування зварних швів кріплення решітки плоских та просторових опор;

– руйнування елементів внаслідок механічних ударів;

– руйнування та часткова відсутність лакофарбового покриття;

– загальна рівномірна корозія металевих елементів до 10%.

Характерним ушкодженням конструкцій естакади в осях 4-7, 2-7 в районі ТЕЦ-ПВС є дефекти виготовлення конструкцій на заводі-виробнику, а також

допущені відхилення в процесі проведення будівельно-монтажних работ. Так характерними дефектами конструкцій на цій ділянці є:

Для прогонових будов (блоків ферм):

– руйнування зварних швів кріплення прокладок складових елементів конструкцій у нижньому та верхньому поясі ферм, у вертикальних та горизонтальних зв'язках по нижньому та по верхньому поясі);

– змішання опорного вузла прогонових будов (блоків ферм) на опорах;

– руйнування та часткова відсутність лакофарбового покриття;

– загальна рівномірна корозія металевих елементів до 5%.

Для опор:

– руйнування зварних швів кріплення решітки плоских та просторових опор;

– руйнування елементів внаслідок механічних ударів;

– руйнування та часткова відсутність лакофарбового покриття;

– загальна рівномірна корозія металевих елементів до 10%.

Виходячи з вище сказаного і на підставі [9], [14] загальний технічний склад будівельних конструкцій естакади технологічних трубопроводів в осях І-402а, 402 в районі аглофабрики, в районі АБК доменного цеху та в районі ТЕЦ-ПВС класифікується як ІІІ (не задовільне [14] або не придатне до нормальної експлуатації [9]).

При цьому конструкції естакади відповідно до [14] знаходяться в основному працездатному та обмежено-працездатному стані, однак окремі елементи конструкцій мають категорію дефектів «А», що знижують загальну характеристику технічного стану.

Перелік заходів для забезпечення подальшої безпечної експлуатації пошкоджених будівельних конструкцій наведено у рекомендаціях.

Рекомендації щодо подальшої експлуатації промислової будівлі такі:

– провести підсилення металевих опор, які мають механічні пошкодження – прогини, вирізи елементів, відповідно до проєктної документації;

– відновити відсутні елементи діафрагми жорсткості просторової опори К-2 в осях 2-7 відповідно до проєктної документації;

– відновити вирізану ділянку підкосу просторової опори К- 2 в осях 2-7 відповідно до проєктної документації;

– відновити зруйновані зварні шви кріплення проміжних прокладень складових елементів конструкцій пролітних будов і опор. Це слід зробити за допомогою струбцин для фіксації і повного притиснення один до одного, з подальшим зварюванням елементів;

– провести відновлення усіх зварних швів вузлових з'єднань відповідно до дефектних відомостей і вказівок, зазначених у проєкті;

– очистити опорні бази опор естакади від технологічного пилу і землі. Провести антикорозійний захист металоконструкцій;

– очистити всі металеві конструкції від іржі і старого лакофарбного покриття. Після очищення виконати чотиришарове забарвлення: два шари грунту ХС-068 і два шари емаллю ХВ-1100. Загальна товщина покриття має становити 100 мікрон. Якість лакофарбного покриття повинна відповідати IV класу ГОСТ 9.032-74.

Усі ремонтні, підсилювальні та відновлювальні роботи виконувати згідно з проєктними рішеннями і розробленою робочою документацією. Роботи мають бути проведені в плановому порядку з обов'язковим оформленням актів "здачі-приймання" і актів на приховані роботи.

Якщо під час обстеження виявлено, що технічний стан об'єкта, його окремих конструкцій або систем не відповідає вимогам для нормальної експлуатації і отримує категорію "3" [14], то об'єкт слід використовувати до відновлення його експлуатаційної придатності або до виведення з експлуатації за обмеженим режимом.

Рекомендується розробити програму обмеженого режиму експлуатації об'єкта, в якій передбачено контроль стану конструкцій, навантажень та впливів. Це сприятиме забезпеченню безпеки людей, безпеки експлуатації об'єкта і захисту навколишнього середовища, відповідно до вимог ДБН В.1.2-6, ДБН В.1.2-8, ДБН В.1.2-9, ДБН В.1.2-12.

3 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ МОНІТОРИНГУ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ІХ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

3.1 Вибір методів моніторингу промислових об'єктів з врахуванням експлуатаційних особливостей для конкретних умов

Моніторинг технічного стану об'єктів та їх конструкцій може здійснюватись через безперервне або періодичне спостереження і контроль з наступними цілями [14]:

– контролю та оцінки впливу природних, техногенних, антропогенних та інших факторів на технічний стан об'єкта, прилеглої забудови та навколишнього середовища;

– виявлення негативних змін у напружено-деформованому стані об'єктів, у разі виявлення яких об'єкт потребує детального обстеження для визначення та оцінки його технічного стану;

– забезпечення безпечного функціонування об'єктів шляхом своєчасного виявлення на початкових етапах негативних змін у напружено-деформованому стані конструкцій та грунтів основ, які можуть призвести до переходу об'єктів у непридатний для нормальної експлуатації або аварійний стан;

– відстеження міри і швидкості зміни технічного стану об'єкта для негайного вжиття екстрених заходів на випадок потреби у запобіганні його обваленню.

Рішення щодо необхідності спостереження, його характеру та регулярності приймається у проєктній документації з урахуванням уразливості будівлі перед загрозами, що можуть призвести до втрати її експлуатаційної придатності через пошкодження, спричинені певними типами негативних факторів або їх комбінацією:

– при низькій уразливості будівлі рівень спостереження - звичайний, тобто, з урахуванням низької ймовірності пошкоджень, можливе відмова від інструментальних спостережень, замінюючи їх візуальними під час планових оглядів;

– при середній уразливості будівлі рівень спостереження - підвищений, тобто, з огляду на середню ймовірність пошкоджень, додатково до візуальних оглядів рекомендується проведення періодичних інструментальних обстежень для виявлення можливих зв'язків між рівнем негативних факторів впливу і динамікою розвитку виявлених пошкоджень;

– при високій уразливості будівлі рівень спостереження - особливий, тобто, з урахуванням високої ймовірності пошкоджень, рекомендується додаткове обладнання об'єкта автоматизованою системою моніторингу для надзвичайних ситуацій. Конфігурація системи та контрольовані параметри визначаються індивідуально з урахуванням аналізу можливих загроз та потенційних пошкоджень.

В залежності від об'єкта спостереження розрізняють моніторинг наступних типів:

– об'єкта в умовах нормальної експлуатації;

– об'єкта в непридатному до нормальної експлуатації або аварійному стані;

– об'єкта в умовах ущільненої забудови або природно-техногенних впливів;

– унікального об'єкта.

Моніторинг об'єкта в нормальних умовах експлуатації проводять для виявлення небезпечних змін у напружено-деформованому стані несучих конструкцій та/або ґрунтів основ, які потребують детального обстеження для обґрунтованої оцінки технічного стану.

Якщо виявлено зміни, що виходять за межі вимог до нормального або задовільного технічного стану, обсяги та терміни проведення наступного циклу моніторингу, які встановлюють за результатами обстежень.

Моніторинг об'єкта в непридатному до нормальної експлуатації або аварійному стані проводять для контролю процесів, що відбуваються в конструкціях та основах до початку і під час проведення робіт з їх відновлення, тобто підсилення.

На кожній стадії моніторингу технічного стану таких об'єктів:

– вимірюють поточні динамічні параметри об'єкта і порівнюють їх з параметрами, отриманими на попередньому етапі;

– фіксують ступінь зміни раніше виявлених дефектів і зафіксовують щойно виявлені ушкодження конструкцій об'єкта;

– проводять повторні виміри деформацій, крену, прогинів тощо і порівнюють їх зі значеннями аналогічних величин, отриманими на попередньому етапі.

– аналізують отриману на цьому етапі моніторингу інформацію і роблять висновки щодо поточного технічного стану об'єкта.

Моніторинг об'єкта, що знаходиться в умовах ущільненої забудови або природно-техногенних впливів, виконують з метою:

– спостереження за технічним станом об'єкта;

– відстеження техногенного впливу на об'єкт прилеглих об'єктів та/або нового будівництва;

– відстеження та оцінки впливу зміни інженерно-геологічної та екологічної ситуації на прилеглій території;

– визначення часу і величини можливих відхилень від нормального функціонування об'єкта.

Такий вид моніторингу планують до початку змін або очікуваної природно-техногенної дії на прилеглій території. Передумовами такого моніторингу можуть бути:

– визначення розрахункових та допустимих значень можливих деформацій конструкцій;

– уточнення розрахункових даних і фізико-механічних характеристик ґрунтів;

– уточнення розрахункової схеми об'єкта;

– уточнення факторів впливу та закономірностей зсувонебезпечних процесів;

– визначення можливих причин виникнення і ступеня небезпеки деформацій для нормальної експлуатації об'єкта;

– надання пропозицій щодо своєчасних заходів із запобігання деформаціям або з усунення їх можливих наслідків.

Для визначення завдань моніторингу технічного стану конкретного об'єкта розробляють і узгоджують з замовником програму проведення моніторингу. У цій програмі встановлюють перелік елементів, що спостерігаються, систему і періодичність спостережень, загальну тривалість моніторингу, вимоги до змісту висновків по проведених його етапах та науково-технічного звіту по завершенні.

Технологія, технічні засоби, обсяг і тривалість моніторингу визначаються в програмі з урахуванням конструктивних особливостей об'єкта, його класу наслідків (відповідальності), категорією відповідальності конструкцій, технічним станом об'єкта, наявністю або прогнозуванням ускладнених умов експлуатації, геологічними та гідрогеологічними умовами ділянки, ущільненістю існуючої забудови, а також вимогами ДБН В.1.2-5, ДБН В.1.3-2 та інших нормативних документів.

Перший етап моніторингу технічного стану об'єктів, за винятком тих, які перебувають у нормальних умовах експлуатації, полягає в їх обстеженні для визначення категорій технічного стану та фіксації дефектів конструкцій. За змінами у стані існуючих дефектів чи виникненням нових здійснюються спостереження під час подальшого моніторингу.

Технології моніторингу, які використовуються під час експлуатації об'єкта, зокрема з використанням автоматизованих систем моніторингу для раннього виявлення змін у напружено-деформованому стані конструкцій, розробляються відповідно до вимог ДБН В.1.2-5 в межах науково-технічного супроводу об'єкта на етапі його проектування.

Завданнями моніторингу є забезпечення вихідних даних для:

– розроблення і коригування прогнозів стосовно технічного стану об'єкта;

– внесення коригувань у проектні рішення;

– своєчасної розробки і впровадження заходів з усунення виявлених (прогнозованих) негативних факторів, що призводять до погіршення технічного стану об'єкта;

– розроблення ефективних заходів для забезпечення надійності, безпеки та експлуатаційної придатності об'єкта, запобігання негативним змінам у навколишньому середовищі, попередження та усунення дефектів і пошкоджень конструкцій;

– формування програми обстеження об'єкта у разі зміни напружено-деформованого стану окремих несучих конструкцій або об'єкта в цілому;

– розроблення заходів для попередження руйнування об'єкта та визначення потреби у їх негайному виконанні.

В залежності від визначеної мети моніторингу, типу спостережуваного об'єкта, затвердженої програми моніторингу, призначення отриманої інформації, висновки по окремим етапам моніторингу та науково-технічний звіт по його завершенні можуть включати наступне:

– матеріали, що передбачені орієнтовним складом звіту з обстеження об'єкта;

– інформацію про виявлені дефекти, графіки змін осадок і нахилів будівлі, деформацій конструкцій, акти огляду стану надземних та підземних конструкцій та інше;

– результати вимірювань стану ґрунтів, рівнів і складу підземних вод, деструктивних процесів (ерозії, зсуви, карстові процеси, осідання земної поверхні) і т.д.;

– матеріали наукового аналізу отриманих результатів, включаючи оцінку результатів спостережень, розрахункові прогнози, порівняння прогнозованих параметрів з результатами вимірювань;

– пропозиції щодо розроблення заходів для попередження або усунення негативних наслідків впливів і забезпечення безпеки об'єкта.

3.2 Застосування моніторингу споруди відкритої кранової естакади

Відкрита кранова естакада цеху металоконструкцій розташована на проммайданчику ТОВ "МЕТІНВЕСТ-КРМЗ" та призначена для забезпечення роботи кранового обладнання. Споруда введена в експлуатацію у 1964р.

Прямокутна в плані з розмірами – 25,5 х 90,0 м, рисунок 3.1 – 3.2.

Крок колон – 6,0 м. Висота естакади до верхньої позначки – 10,0 м.

Конструктивна схема – каркасна, з жорстко затисненими залізобетонними колонами у фундаментах (прольот – 24,0 м), на які спираються залізобетонні підкранові балки таврового перетину. Висота балок – 1200,0 мм.

В повздовжньому напрямку стійкість у всіх прогонах забезпечена вертикальними металевими зв'язками, які змонтовані у температурних блоках.

Температурні шви створені попарно змонтованими колонами.

Споруда відкритої кранової естакади впродовж тривалого часу експлуатується в умовах впливу агресивного середовища: високої вологи, температурні коливання, механічні впливи – вібрації, удари, навантаження від важкого обладнання (мостови кран), дії агресивних хімічних сполук.

Мета моніторингу: визначити відповідність об'єкта вимогам щодо збереження механічного опору та стійкості відповідно до вимог [14]; отримати об'єктивну і вичерпну інформацію про фізико-механічні властивості матеріалів і самих конструкцій будівлі на момент обстеження для оцінки їх технічного стану та придатності їх до подальшої експлуатації. Моніторинг і оцінка технічного стану будівельних конструкцій та матеріалів виконувалися відповідно до вимог нормативних документів, методами розрахунково-аналітичної діагностики на підставі даних візуальної та інструментальної дефектоскопії із застосуванням спеціальних інструментів неруйнівного контролю та лабораторних досліджень, які дозволяють з достатнім ступенем точності, визначити фізико-механічні властивості матеріалів конструкцій без їх руйнування.

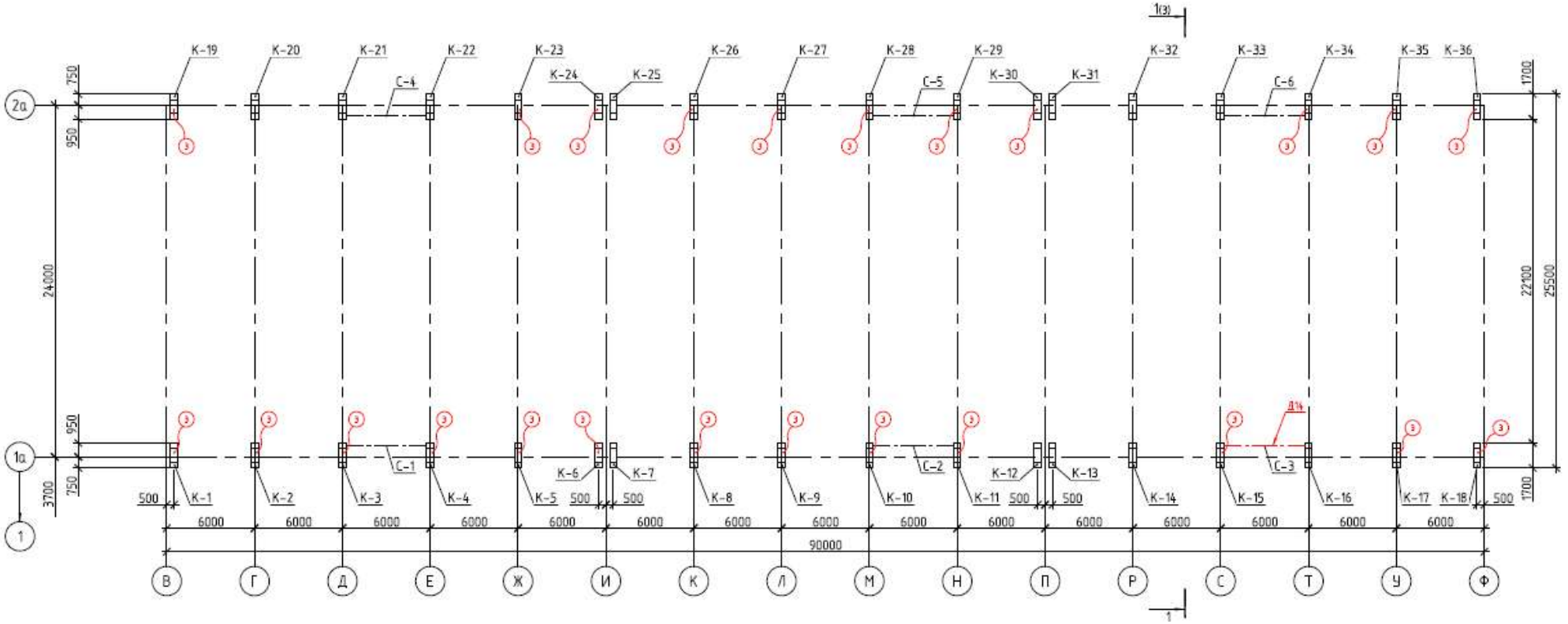


Рисунок 3.1 – План відкритої кранової естакади

Умовні позначення:

– категорія технічного стану конструкції*

*конструкції які не позначені відносяться до категорії технічного стану 2.

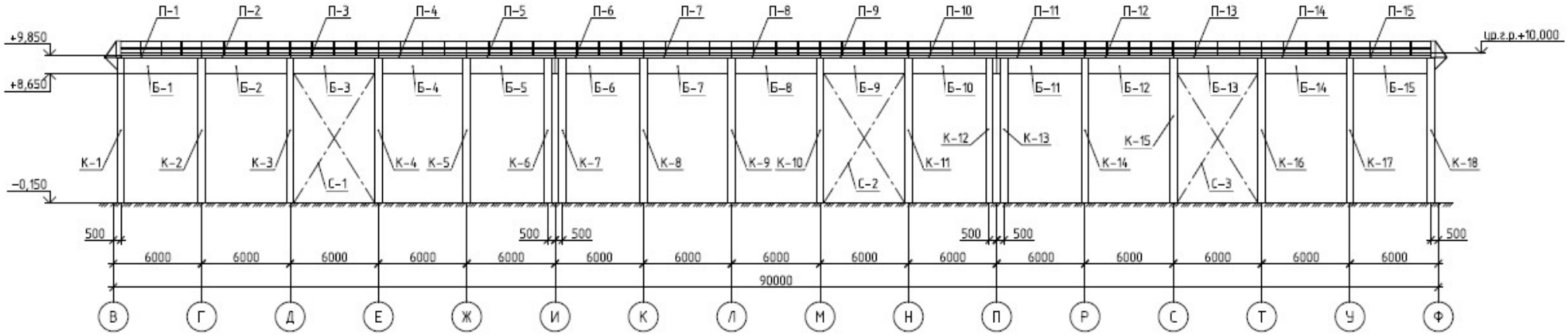


Рисунок 3.2 – Фасад в осях В – Ф

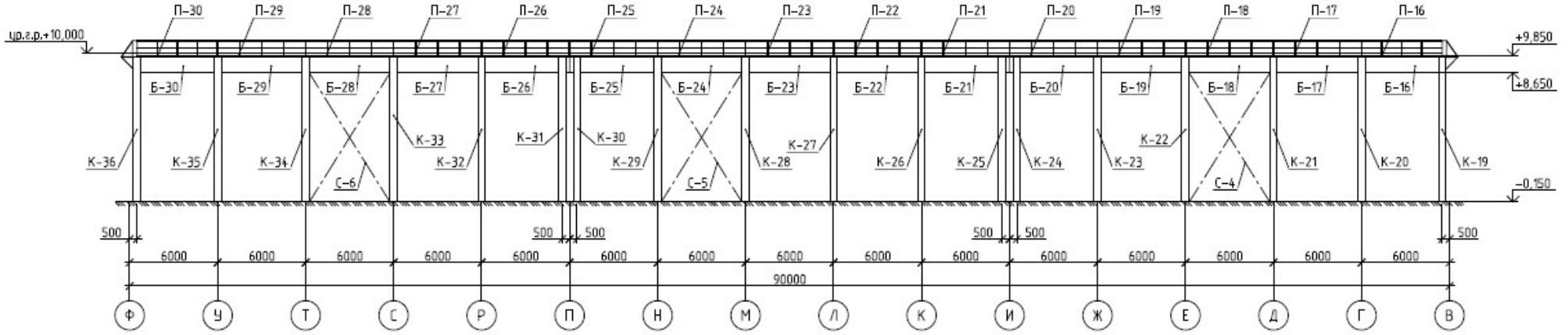


Рисунок 3.3 – Фасад в осях Ф – В

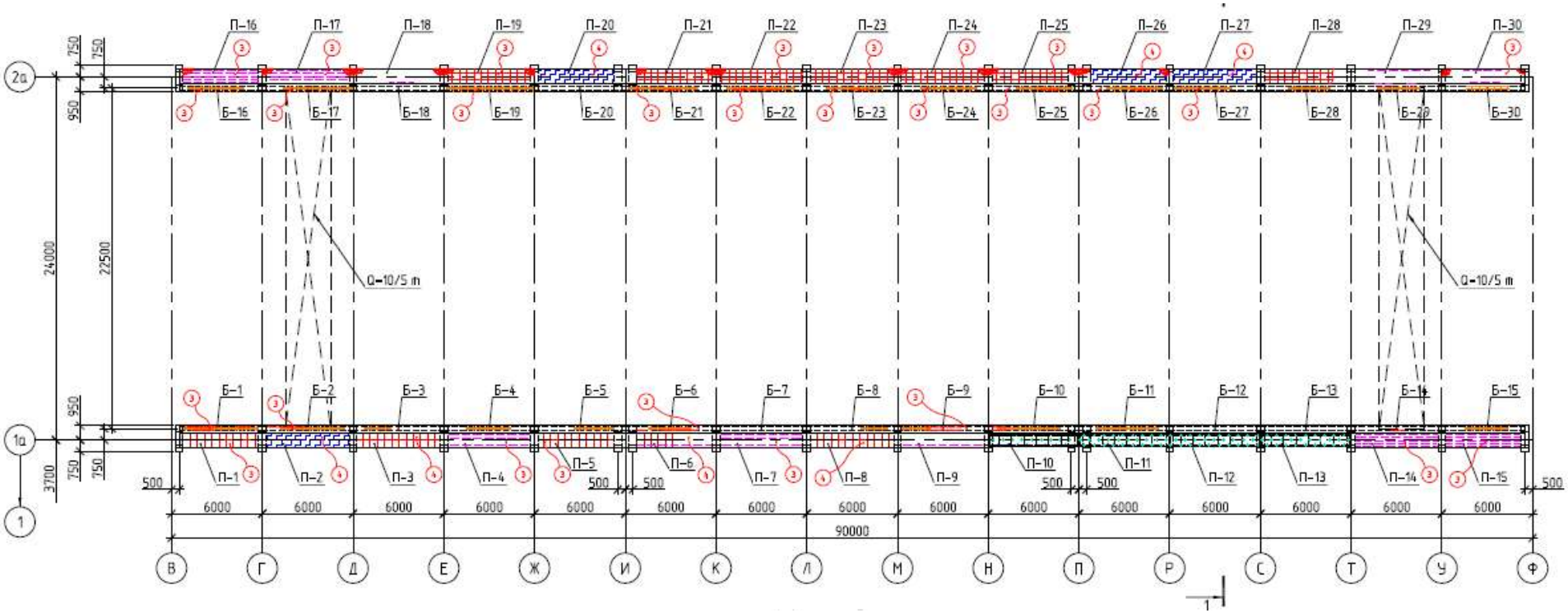


Рисунок 3.4 – План підкранових балок та ходових площадок кранової естакади

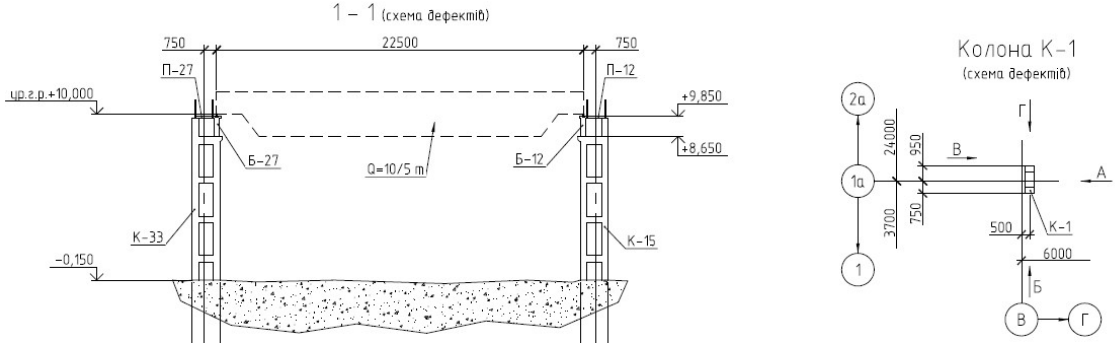


Рисунок 3.5 – Розріз 1 – 1, схема дефектів

Оцінка технічного стану визначена відповідно до нормативної класифікації за категоріями:

– 1 - конструкції знаходяться в нормальному стані;

– 2 - конструкції знаходяться в задовільному стані;

– 3 - конструкції знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані;

– 4 - конструкції знаходяться в аварійному стані.

3.2.1 Технічний стан будівельних конструкцій

Під час обстеження конструкцій споруди були виявлені дефекти та пошкодження конструкцій, які погіршують технічний стан конструктивних елементів, впливають на довговічність та надійність конструкцій. Більшість з них викликана відсутністю поточних ремонтів.

Перелік дефектів наведено у відомості дефектів таблиця 3.1, де описані дефекти, що мають найбільший вплив на експлуатаційні характеристики конструкцій споруди.

Фундаменти монолітні, залізобетонні, стаканого типу.

Фундаменти не розкривались та геометричні параметри не встановлювались. На момент проведення обстеження, візуально, пошкоджень не виявлено, що говорить про стабільний стан фундаментів та відсутність явних дефектів.

За непрямими ознаками фундаменти знаходяться в задовільному стані, відповідному категорії «2».

Колони. На момент обстеження виявлені такі дефекти та пошкодження:

– руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури двогілкових залізобетонних колон естакади, рисунок 3.6;

– руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури з внутрішньої сторони гілок залізобетонних колон естакади, рис. 3.6;

– сколювання бетону по ребрах, оголення та корозія арматури залізобетонних колон естакади, рисунок 3.7;

– тріщини вздовж стрижнів арматури, рисунок 3.8;

– пухкість, розтріскування, відшарування захисного шару бетону залізобетонних колон естакади, рисунок 3.9;

– тріщина в перемичці між гілками залізобетонних колон естакади (колона К-17), рисунок 3.10;

– погнутість металевого елементу, рисунок 3.11.

Дефекти та пошкодження виявлені на момент проведення обстеження, занесені в таблицю 3.1 – Відомість дефектів і пошкоджень.

Конструкції колон знаходяться задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім колон К1÷К6; К8÷К11; К15;К17÷К19; К23÷К24; К26÷К30; К34÷К36, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3.

Підкранові балки та тормозні конструкції. На момент обстеження виявлені такі дефекти та пошкодження рисунок 3.12 – 3.15:

– руйнування захисного шару бетону, оголення та поверхнева корозія арматури залізобетонних підкранових балок, рисунок 3.12;

– тріщини вздовж арматурних стрижнів залізобетонних підкранових балок.

Дефекти та пошкодження виявлені на момент проведення обстеження, занесені в таблицю 3.1.

Конструкції підкранових балок та тормозних конструкцій знаходяться задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім підкранових балок Б1; Б2; Б6; Б9; Б16; Б17; Б19; Б21÷Б27, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3.

Сходи та площадки. На момент обстеження виявлені такі дефекти та пошкодження рисунок 3.12 – 3.15:

– руйнування захисного шару бетону вздовж стрижнів арматури залізобетонних плит, рисунок 3.12;

– наскрізне руйнування бетону в кутах залізобетонних плит, рисунок 3.14;

– руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури залізобетонних плит, рисунок 3.13;

– руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури до 20 %, прогини конструкцій, рисунок 3.16;

– руйнування захисного лакофарбового покриття, корозія металевих площадок до 5 %, рисунок 3.17.

Дефекти та пошкодження виявлені на момент проведення обстеження, занесені в таблицю 3.1.

Сходи та площадки знаходяться в задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім залізобетонних плит П1; П4; П5; П7; П14÷ П17; П19; П22÷П25; П30, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3, та залізобетонних плит П2; П3; П6; П8; П20; П26; П27 в аварійному стані, що відповідає категорії 4.

Висновки за результатами обстеження будівельних конструкцій. За результатами візуального та інструментального обстеження будівельних конструкцій відкритої кранової естакади цеху металоконструкцій, встановлено:

– фундаменти знаходяться в задовільному стані, що відповідає категорії 2;

– конструкції колон знаходяться в задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім колон К1÷К6; К8÷К11; К15;К17÷К19; К23÷К24; К26÷К30; К34÷К36, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3;

– конструкції підкранових балок та тормозних конструкцій знаходяться в задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім підкранових балок Б1; Б2; Б6; Б9; Б16; Б17; Б19;

– Б21÷Б27, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3 [18].

3.2.2 Фотоілюстрація дефектів та пошкоджень

Фотоілюстрація дефектів та пошкоджень наведена на рисунках 3.6 – 3.17.



Рисунок 3.6 – Фото 1, Д1 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури двогілкових залізобетонних колон естакади



Рисунок 3.7 – Фото 2, Д3 - сколювання бетону по ребрах, оголення та корозія арматури залізобетонних колон естакади



Рисунок 3.8 – Фото 3, Д4 - тріщини вздовж стрижнів арматури



Рисунок 3.9 – Фото 4, Д5 - пухкість, розтріскування, відшарування захисного шару бетону залізобетонних колон естакади



Рисунок 3.10 – Фото 5, Д6 - тріщина в перемичці між гілками залізобетонних колон естакади (колона К-17)



Рисунок 3.11 – Фото 6, Д14 – погнутість металевого елементу

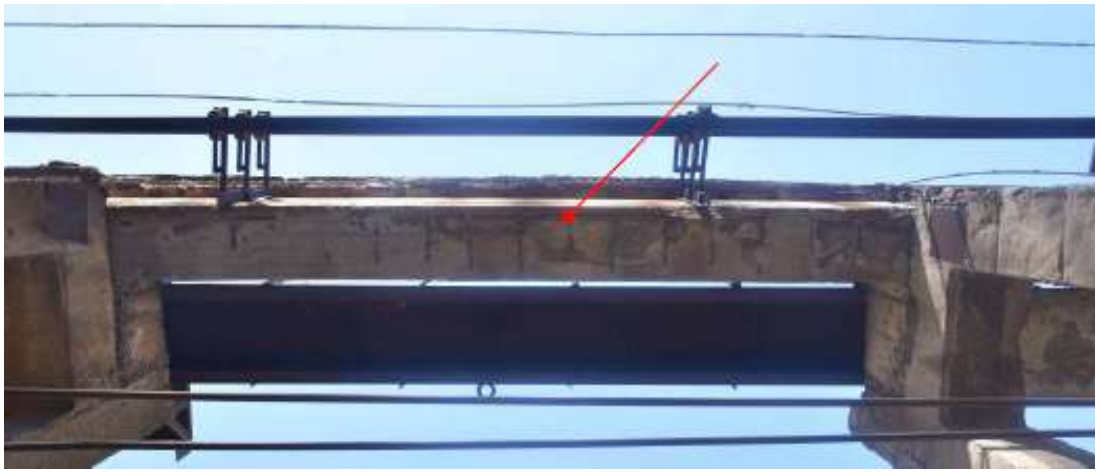


Рисунок 3.12 – Фото 7, Д11 - руйнування захисного шару бетону, оголення та поверхнева корозія арматури залізобетонних підкранових балок, Д12 – тріщини вздовж арматурних стрижнів підкранових балок



Рисунок 3.13 – Фото 8, Д7 - руйнування захисного шару бетону вздовж стрижнів арматури залізобетонних плит



Рисунок 3.14 – Фото 9, Д8 - наскрізне руйнування бетону в кутах залізобетонних плит



Рисунок 3.15 – Фото 10, Д9 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури залізобетонних плит



Рисунок 3.16 – Фото 11, Д10 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури до 20 %, прогини конструкцій



Рисунок 3.17 – Фото 12, Д13 - руйнування захисного лакофарбового покриття, корозія металевих площадок до 5 %

– сходи та площадки знаходяться в задовільному стані, що відповідає категорії 2, крім залізобетонних плит П1; П4; П5; П7; П14÷ П17; П19; П22÷П25; П30, які знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3, та залі-зобетонних плит П2; П3; П6; П8; П20; П26; П27 в аварійному стані, що відповідає категорії 4.

Технічний стан відкритої кранової естакади цеху металоконструкцій ТОВ «МЕТІН-ВЕСТ-КРМЗ» в цілому визначено згідно з вимогами нормативних документів: Порядок проведення обстеження прийнятих в експлуатацію об’єктів будівництва, затверджений Постановою КМУ від 12 квітня 2017 р. № 257, ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016 «Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану», ДСТУ Б В.2.6-210:2016 «Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються». Будівельні конструкції відкритої кранової естакади цеху металоконструкцій ТОВ «МЕТІНВЕСТ-КРМЗ» знаходяться в непридатному до нормальної експлуатації стані, що відповідає категорії 3 [18].

3.2.3 Відомість дефектів і пошкоджень

Таблиця 3.1 – Відомість дефектів і пошкоджень [18]

№ з/п	Розміщення дефектів	Найменування дефектів	Рекомендації	Технічний стан	Фото
1. Колони					
1	Колони К1÷К6; К8÷К11; К15;К17÷К19; К23÷К24; К26÷К30; К34÷К36	Д1 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури двогілкових залізобетонних колон естакади	Виконати ремонт та підсилення згідно з заздалегідь розробленого проекту.	3	Фото 1
		Д2 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури з внутрішньої сторони гілок залізобетонних колон естакади			
		Д3 - сколювання бетону по ребрах, оголення та корозія арматури залізобетонних колон естакади			Фото 2
		Д4 - тріщини вздовж стрижнів арматури			Фото 3
		Д5 - пухкість, розтріскування, відшарування захисного шару бетону залізобетонних колон естакади			Фото 4
		Д6 - тріщина в перемичці між гілками залізобетонних колон естакади (колона К-17)			Фото 5
		Д14 – погнутість металевого елементу			Фото 6

Продовження таблиці 3.1 – Відомість дефектів і пошкоджень [18]

1а	Колони	Д1 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури двогілкових залізобетонних колон естакади	Очистити пошкоджену поверхню бетону від матеріалів слабкої міцності, пилу і брухту продути стисненим повітрям і промити водою, арматуру очистити від корозії до металевого блиску, обробити поверхню адгезивним матеріалом, відновити зруйновані ділянки полімер-цементним розчином.	2	-
		Д5 - пухкість, розтріскування, відшарування захисного шару бетону залізобетонних колон естакади	Очистити пошкоджену поверхню бетону від матеріалів слабкої міцності, пилу і брухту продути стисненим повітрям і промити водою, відновити зруйновані ділянки полімер-цементним розчином.		-
2. Підкранові балки та тормозні конструкції					
2	Підкранові балки	Д11 - руйнування захисного шару бетону, оголення та поверхнева корозія арматури залізобетонних підкранових балок	Очистити пошкоджену поверхню бетону від матеріалів слабкої міцності, пилу і брухту продути стисненим повітрям і промити водою, арматуру очистити від корозії до металевого блиску, обробити поверхню адгезивним матеріалом, відновити зруйновані ділянки полімер-цементним розчином.	2	Фото 7
		Д12 – тріщини вздовж арматурних стрижнів підкранових балок	Очистити тріщини від пилу і матеріалів слабкою міцності. Тріщину розшити, продути стисненим повітрям і промити водою. Зачеканити полімер-цементним розчином.		Фото 7
2а	Підкранові балки Б1; Б2; Б6; Б9; Б16; Б17; Б19; Б21÷Б27	Д11-Д12	Виконати ремонт та підсилення згідно з заздалегідь розробленого проекту.	3	-
3. Сходи та площадки					
3	Сходи та площадки (Плити П1; П4; П5; П7; П14÷ П17; П19; П22÷П25; П30)	Д7 - руйнування захисного шару бетону вздовж стрижнів арматури залізобетонних плит	Замінити пошкоджені конструкції згідно заздалегідь розробленого проекту	3	Фото 8
		Д8 - наскрізне руйнування бетону в кутах залізобетонних плит	Замінити пошкоджені конструкції згідно заздалегідь розробленого проекту		Фото 9

Продовження таблиці 3.1 – Відомість дефектів і пошкоджень [18]

		Д9 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури залізобетонних плит	Замінити пошкоджені конструкції згідно заздалегідь розробленого проекту		Фото 10
		Д10 - руйнування захисного шару бетону, оголення та корозійні пошкодження арматури до 20 %, прогини конструкцій	Замінити пошкоджені конструкції згідно заздалегідь розробленого проекту		Фото 11
		Д13 - руйнування захисного лакофарбового покриття, корозія металевих площадок до 5 %	Очистити поверхню елементів від продуктів корозії до металевого блиску, відновити лакофарбове покриття		Фото 12
3а	Плити П2; П3; П6; П8; П20; П26; П27.	Д7; Д8; Д10	Замінити пошкоджені конструкції згідно заздалегідь розробленого проекту	4	-

3.2.4 Рекомендації щодо застосування заходів для забезпечення надійності та безпеки під час подальшої експлуатації споруди після моніторингу

В процесі обстеження виявлені дефекти та пошкодження, які знижують несучу здатність і експлуатаційну придатність конструкцій споруди.

Згідно з п.п. 5.2.3 і 5.3.3 [14] необхідно виконати ремонт, підсилення або заміну конструкцій, а до завершення цих заходів використовувати об’єкт за обмеженим режимом експлуатації, контролюючи стан конструкцій, навантаження та впливи. До виконання ремонтно-відновлювальних робіт необхідно вжити своєчасні заходи для забезпечення безпеки технічного та обслуговуючого персоналу. Для цього необхідно розробити програму, в якій передбачити наступне:

– проведення інструктажів з персоналом щодо находження небезпечних зон розташування конструкцій, що мають 3-4 категорію технічного стану;

– виконати огородження вказаних вище небезпечних зон нез'ємним огородженням та встановлення попереджувальних знаків;

– обмеження доступу персоналу в вказані вище небезпечні зони;

– забезпечення регулярного контролю за технічним станом пошкоджених конструкцій із занесенням результатів оглядів в журнал.

Рекомендується виконати ремонтно-відновлювальні роботи по усуненню дефектів і пошкоджень будівельних конструкцій відкритої кранової естакади цеху металоконструкцій згідно з попередньо розробленою робочою документацією та з урахування рекомендацій наданих в табл. 3.1.

В процесі подальшої експлуатації споруди у разі відновлення експлуатаційної придатності забезпечити моніторинг за технічним станом будівельних конструкцій, для цього рекомендується:

– один раз в три місяці проводити поточні огляди конструкцій споруди, результати оглядів вносити в журнал технічної експлуатації об'єкта;

– періодично два рази в рік, навесні та восени, проводити загальні технічні огляди конструкцій споруди комісією із загального огляду будівель і споруд;

– за результатами оглядів складати акти оглядів;

– не допускати перевищення проектних навантажень, встановити в зоні огляду знаки з вказівкою граничних навантажень.

Після проведення ремонтно-відновлювальних робіт провести повторне (позапланове) обстеження будівельних конструкцій відкритої кранової естакади цеху металоконструкцій ТОВ «МЕТІНВЕСТ-КРМЗ» [18].

Так як обстеження будівельних конструкцій проводилось в місцях, доступних для вимірювань, випробувань та визуальних спостережень, при виявленні дефектів, деформацій та руйнувань під час виконання ремонтно-будівельних робіт, які не були встановлені на момент обстеження, необхідно проінформувати про це організацію, яка виконувала обстеження будівельних конструкцій.

3.3 Рекомендації щодо підвищення ефективності моніторингу експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах дії агресивного середовища

Моніторинг залишкового ресурсу огороджувальних конструкцій будівель і споруд здійснюється згідно з програмою, яку розробляє організація, що проводить цей моніторинг.

Програма моніторингу огороджувальних конструкцій створюється до початку їх монтажу і враховує рівень відповідальності та технологічні особливості зведення будівлі. У програмі вказуються ключові вузли і конструкції, які підлягають моніторингу, параметри, що контролюються та визначені в проєкті на монтаж зовнішніх огороджень, а також перелік робіт, вибір системи і методики спостережень, обсяги контрольних операцій, обладнання та інші деталі.

При проведенні моніторингу керуються критеріями безпеки, надійності та якості, зазначеними в проектній документації, чинних нормативних документах та відповідних регіональних нормах з монтажу і влаштування систем зовнішньої теплоізоляції, покриттів і світлопрозорих конструкцій.

Під час проведення моніторингу проводиться перевірка стану елементів зовнішніх огороджень на відповідність фізичним і деформаційним характеристикам, які підлягають перевірці і зазначені в проєктній документації або чинних нормативних документах.

Особливу увагу слід приділяти вузлам і конструкціям зовнішніх огороджень, де несправність може викликати руйнування або недопустимі деформації інших конструкцій, обвалення частин огороджень будівлі чи споруди, або зниження безпеки як самої будівлі, так і людей, які перебувають в ній або поруч. Для навісних фасадних систем це можуть бути вузли кріплення до основних конструкцій каркаса і вузли кріплення облицювальних елементів до каркасу НФС.

При виборі системи спостереження враховуються швидкість змін у напружено-деформованому стані огороджувальних конструкцій, тривалість вимірювань, похибки вимірів, зокрема через зміни погодних умов, а також впливи природно-техногенних аномалій.

Під час тривалих спостережень і змін зовнішніх умов, такі як температура, вологість, вітрові впливи тощо необхідно забезпечити стабільність системи спостережень і параметрів вимірювальних пристроїв. Якщо використовуються автоматизовані системи контролю, до розробки Програми моніторингу залучається організація, що розробила цю автоматизовану систему.

Прилади і обладнання, що використовуються для спостережень, регулярно перевіряються відповідно до періодичності, зазначеної в Програмі.

Для раннього виявлення негативних фізичних параметрів і змін у напружено-деформованому стані огороджувальних конструкцій автоматизовані засоби контролю встановлюються під час їх монтажу. В подальшому ці засоби рекомендується використовувати для моніторингу в період експлуатації.

На початковому етапі моніторингу огороджувальних конструкцій будівель і споруд, якщо він не розпочато з початку будівництва чи реконструкції, необхідно провести обстеження їх технічного стану. Це включає фіксацію дефектів і пошкоджень конструкцій, визначення категорій технічного стану, виявлення критичних зон з точки зору механічної та іншої безпеки, а також уточнення методів спостереження відповідно до зафіксованого стану. У разі потреби розробляються рекомендації для приведення конструкцій у робочий стан.

Під час моніторингу здійснюється контроль:

– напружено-деформованого стану основних елементів огороджувальних конструкцій будівлі або споруди;

– геометричних характеристик розташування окремих компонентів фасадних систем;

– корозійної стійкості елементів конструкцій;

– теплозахисних властивостей зовнішнього огородження (енергетичний паспорт);

– кліматичних параметрів: швидкість і тиск вітру, температура, вологість;

– порівняння отриманих параметрів стану конструкцій з нормативними значеннями, вказаними в проекті або чинних нормативних документах;

– перевірки відповідності конструкцій зовнішнього огородження зафіксованим кліматичним умовам, включаючи перевірку розрахункових зусиль у монтажних елементах.

При виявленні змін у фізичних та механічних параметрах напружено-деформованого стану огороджувальних конструкцій проводиться обстеження цих зон. Оцінюється технічний стан конструкцій, визначається можливість виникнення небезпеки і необхідність вжиття заходів для відновлення, підсилення або заміни конструкцій.

Під час моніторингу треба визначити основні характеристик експлуатаційної якості. Експлуатаційна якість промислових об’єктів включає їх надійність, довговічність, безпеку, енергоефективність та стійкість до зовнішніх факторів. Умови агресивного середовища вимагають додаткових заходів для збереження цих характеристик.

Методи підвищення експлуатаційної якості об’єктів в умовах дії агресивного середовища:

– використання корозійностійких матеріалів. Застосування спеціальних металів, сплавів та полімерних матеріалів, які мають підвищену стійкість до агресивних середовищ;

– покриття та захист конструкцій – нанесення антикорозійних покриттів, фарб, лаків, а також технологій захисту від впливу агресивних хімічних сполук.

– вибір та контроль матеріалів, що використовуються при будівництві; Важливо ретельно підбирати матеріали, які підвищують стійкість конструкцій до зовнішніх агресивних впливів;

– технічне обслуговування та своєчасний ремонт – проведення регулярних оглядів та обслуговування з метою виявлення та ліквідації можливих дефектів;

– застосування інноваційних технології та матеріалів. Впровадження новітніх технологій, таких як використання наноматеріалів, що забезпечують підвищену стійкість до корозії та зносу.

– обов’язкове застосування системи моніторингу та прогнозування. Встановлення систем моніторингу для оцінки стану об’єктів, що дозволяють своєчасно виявляти пошкодження та коригувати плани технічного обслуговування.

На основі результатів моніторингу готується періодичний науково-технічний звіт, який надається Замовнику, генеральному проєктувальнику та організації, що проводить моніторинг.

Періодичний науково-технічний звіт включає:

– результати моніторингу у вигляді дефектних відомостей, виконавчих схем з відображенням геометричних відхилень, графіків зміни деформаційного стану окремих вузлів і конструкцій в цілому, актів технічного стану конструкцій, документів, що підтверджують дотримання технологічної послідовності робіт з моніторингу, фотоматеріалів, що фіксують дефекти та пошкодження, а також оцінку відсотка фізичного зносу та категорії технічного стану конструкцій і будівлі (споруди) в цілому;

– висновок про надійність конструкцій та можливість подальшої експлуатації зовнішнього огородження, відповідність фактичних параметрів стану конструкцій розрахунковим або проєктним;

– технічне завдання на розробку проектних і технологічних заходів для запобігання і усунення негативних змін;

– пропозиції щодо подальшого проведення моніторингу.

Підвищення експлуатаційної якості промислових об’єктів в умовах агресивного середовища є важливим аспектом для забезпечення довговічності, безпеки та економічної ефективності виробництва. Для цього необхідно комплексно підходити до вибору матеріалів, технологій та методів обслуговування, а також враховувати екологічні та економічні аспекти.

ВИСНОВКИ

1. Підвищення ефективності експлуатації промислових об'єктів в умовах агресивного середовища є критично важливим для забезпечення їх надійності, безпеки та довговічності. Агресивні середовища, такі як хімічні, біологічні чи фізичні впливи, значно пришвидшують процеси деградації матеріалів, що підвищує ризики аварій та збоїв у роботі об'єктів.
2. Важливими методами моніторингу є використання сенсорних технологій, таких як датчики температури, вологості, корозії, а також акустичні та вібраційні методи. Це дозволяє оперативно виявляти зміни в стані конструкцій, попереджаючи потенційні аварії. Системи автоматизованого моніторингу з використанням бездротових технологій дозволяють здійснювати безперервне спостереження та збір даних у режимі реального часу.
3. Використання інтелектуальних систем для аналізу отриманих даних та прогнозування залишкового ресурсу об'єктів дозволяє проводити точніші оцінки стану обладнання і визначати оптимальні часи для проведення технічного обслуговування. Це дозволяє не лише знизити витрати на ремонт, а й підвищити безпеку експлуатації.
4. Врахування впливу агресивного середовища на матеріали конструкцій є ключовим елементом для забезпечення їх довговічності. Використання стійких до корозії матеріалів або покриттів, а також застосування новітніх матеріалів з підвищеними властивостями є важливими аспектами, які можуть значно зменшити шкідливий вплив агресивного середовища.
5. Необхідність регулярного технічного огляду та обстеження промислових об'єктів є важливим етапом для забезпечення безпеки. Системи моніторингу дозволяють своєчасно виявляти недоліки та вжити

відповідних заходів до того, як проблеми стануть критичними. Це включає не лише виявлення пошкоджень, а й моніторинг змін у структурі матеріалів та їх властивостях.

6. Перспективними напрямками розвитку моніторингових технологій є інтеграція датчиків на основі нанотехнологій, застосування штучного інтелекту для більш точного прогнозування відмов, а також розробка нових, більш стійких матеріалів для будівництва і виробництва, що здатні витримувати вплив агресивних факторів протягом тривалого часу.
7. Використання сучасних методів моніторингу та передових технологій у поєднанні з правильною експлуатацією та обслуговуванням промислових об'єктів в агресивному середовищі є запорукою зниження ризиків та підвищення надійності у будівництві.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василенко, В. О. Технології моніторингу технічного стану промислових об'єктів. Київ: Техніка, 2020.

2. Петров, І. М. Неразрушаючий контроль у промисловості. Харків: Наукова думка, 2018.

3. Сидоренко, Н. А. Вплив агресивних середовищ на матеріали та обладнання. Дніпро: Металургія, 2019.

4. Боголюбов В.М. Моніторинг довкілля: підручник / [Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін.]; під ред. В. М. Боголюбова. Вінниця : ВНТУ, 2010. 232 с.

5. Боголюбов В.М., Прилипко В.А. Стратегія сталого розвитку: Навчальний посібник / Боголюбов В.М., Прилипко В.А./ Херсон: Олді-плюс, 2009. 322с.

6. Савйовський В. В. Реконструкція будівель і споруд: навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра. 2020. 320 с.

7. Шишкін Е. А., Завальний О. В. Реконструкція цивільних та промислових будівель і споруд : підручник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. 404 с.

8. ДСТУ Б В.2.6-193:2013 Захист будівельних конструкцій від корозії. [Чинний від 2013-08-08] Київ: Мінрегіон України. 2013. 49 с.

9. ДСТУ-Н Б В.2.6.-210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються. [Чинний від 2017-01-01] / Мінрегіон України. Київ: 2016. 53 с.

10. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об`єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зміна № 1. [Чинний від 2007-01-01]. Київ: Мінбуд України. 2006. 75 с.

11. ДСТУ Б В.2.2-29:2011. Будівлі підприємств. Параметри. [Чинний від 2012-01-12]. Київ: Мінрегіон України, 2012. 12 с.

12. ДБН А.2.2-3-2012 Склад та зміст проектної документації на будівництво [Чинний від 2012-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2012. 29 с.

13. ДСТУ Б А.2.4-7:2009 Система проектної документації для будівництва. Правила виконання архітектурно-будівельних робочих креслень [Чинний від 2009-01-24]. Київ: Держстандарт України, 2009. 75 с.

14. ДСТУ 9273:2024 Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінювання їхнього технічного стану. Механічний опір та стійкість. [Чинний від 2024-01-09]. Київ: Технічний комітет стандартизації «Будтехнології, 2024. 50 с.

15. Вибір огороджувальних конструкцій для будівництва в агресивних середовищах URL: https://rautagroup.com/uk/vybir-ogorodzhuvalnyh-konstruktsij-dlya-budivnytstva-v-agresyvnyh-seredovyshhah/ (дата звернення 28.08.2024)

16. ДСТУ–Н Б В.1.2-16:2013 Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об’єктів будівництва. [Чинний від 2012-07-01]. Київ: Мінрегіон України, 2013. 26 с.

17. ДСТУ-Н Б В.2.6-186:2013 Настанова щодо захисту будівельних конструкцій будівель та споруд від корозії. [Чинний від 2012-08-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 36 с.

18. Обстеження, оцінка технічного стану, розробка рекомендованих робочих креслень з відновлення технічного стану елементів будівельних конструкцій для подальшої безпечної експлуатації та паспортизація відкритої кранової естакади ЦМК в ТОВ "МЕТІНВЕСТ-КРМЗ". Технічний звіт. (201/202-17), 63 с.

19. ДБН В.1.2-14:2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ : [Чинний від 2019-01-01 : на заміну ДБН В.В.1.2-14-2009]. Вид. офіц. Київ : Мінгегіон України, 2018. 36 с

20. ДБН В 1.1-7-2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний від 2017-06-01 : на заміну ДБН В. 1.1-7-2002 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва"] Вид. офіц. Київ : Мінгегіон України, 2017. 35 с

21. ДБН В.2.5-56-2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту. [Чинний від 2011-10-01 ; на заміну ДБН А.2.5-13-98]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2011. 137 с.

22. ДСТУ Б А.2.4-4:2009. Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації. [Чинний від 2009-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2009. 70 с.

23. ДСТУ Б А.3.1-22:2013. Визначення тривалості будівництва об’єктів [Чинний з 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2013. 42 с.

24. ДБН А.3.1-5-2016. Державні будівельні норми. Управління, організація і технологія. Організація будівельного виробництва. [Чинний від 2016-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2017. 67 с.

25. ДСТУ 3008-2015. Документація. Звіти у сфері науки і техніки: Структура та правила оформлення. [Чинний від 2016-01-01]. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016. 31 с.

26. ДСТУ 8302:2015 Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. Чинний від 2016-01-01]. Київ: ДП «Укр НДНЦ», 2016. 20 с.

27. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01 ; на заміну ДБН А.2.6-163:2010 у части розділу 1 та ДСТУ Б В.2.6-194:2013]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2014. 205 с.

28. ДСТУ Б А.2.4-4:2009 Система проектної документації для будівництва. Основні вимоги до проектної та робочої документації. [Чинний від 2009-01-24]. Київ: Держстандарт України, 2009. 70 с.

29. ДСТУ Б А.2.4-11:2009 Система проектної документації для будівництва. Правила виконання специфікації обладнання, виробів і матеріалів. [Чинний від 2009-01-24]. Київ: Держстандарт України, 2009. 12 с.

30. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві.: Основні положення. [Чинний від 2012-04-01]. Київ: Держстандарт України, 2012. 94.

31. Клименко Є.В. Технічна експлуатація та реконструкція будівель і споруд: Підручник. Київ: Центр навчальної літератури, 2004. 304 с.38.

32. Клименко Є.В. Технічний стан будівель і споруд: Монографія. Одеса: ОДАБА. Уманське комунальне видавничо-поліграфічне підприємство, 2010. 284 с.

33. Масюк Г.Х. Залізобетонні конструкції інженерних споруд промислових підприємств: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2011. 212 с.

34. Ромашко В.М. Діагностика та відновлення будинків і споруд. Рівне: НУВГП, 2011. 287 с.

39. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення проектування. [Чинний від 2010-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 71 с.

35. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. [Чинний від 2010-28-12]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 118 с.

36. ДСТУ Б В.2.6-2:2009 Конструкції будинків і споруд. Вироби бетонні і залізобетонні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2009-29-12]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010.29 с.

37. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки. [Чинний від 2009-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України. 2008. 33 с.

38. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівництва. [Чинний від 2016-05-05]. Вид. офіц. Київ, 2016. 51с.

39. Теліченко О.І., Нагорний М.В.Зведення і монтаж будівель та споруд : навч. посіб. Суми : Видавництво Сумський національний аграрний університет, 2020. 197 с.

40. Павлов І.Д., Полтавець М.О. Організація, планування та системи управління в містобудівництві: навчально-методичний посібник для здобувачів вищої освіти «Магістра» спеціальності «Будівництво та цивільна інженерія». Запоріжжя, ЗНУ, 2019. 165 с.

41. Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України «Про затвердження Порядку проведення містобудівного моніторингу». URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1268-11

ДОДАТОК А



Фото 1 – Руйнування зварного шва кріплення фасонки до гілки горизонтального зв'язку



Фото 2 – Руйнування зварних швів кріплення проміжних прокладок складових елементів з кутиків нижнього поясу ферми, горизонтальні зв'язки по верхніх поясах пролітної будови з куточків



Фото 3 – Руйнування зварного шва кріплення елементу траверси ферми до фасонки



Фото 4 – Механічне ушкодження – виріз ділянки горизонтального зв'язку по верхніх поясах ферм



Фото 5 – Механічне ушкодження – погнутость вузлової фасонки ферми

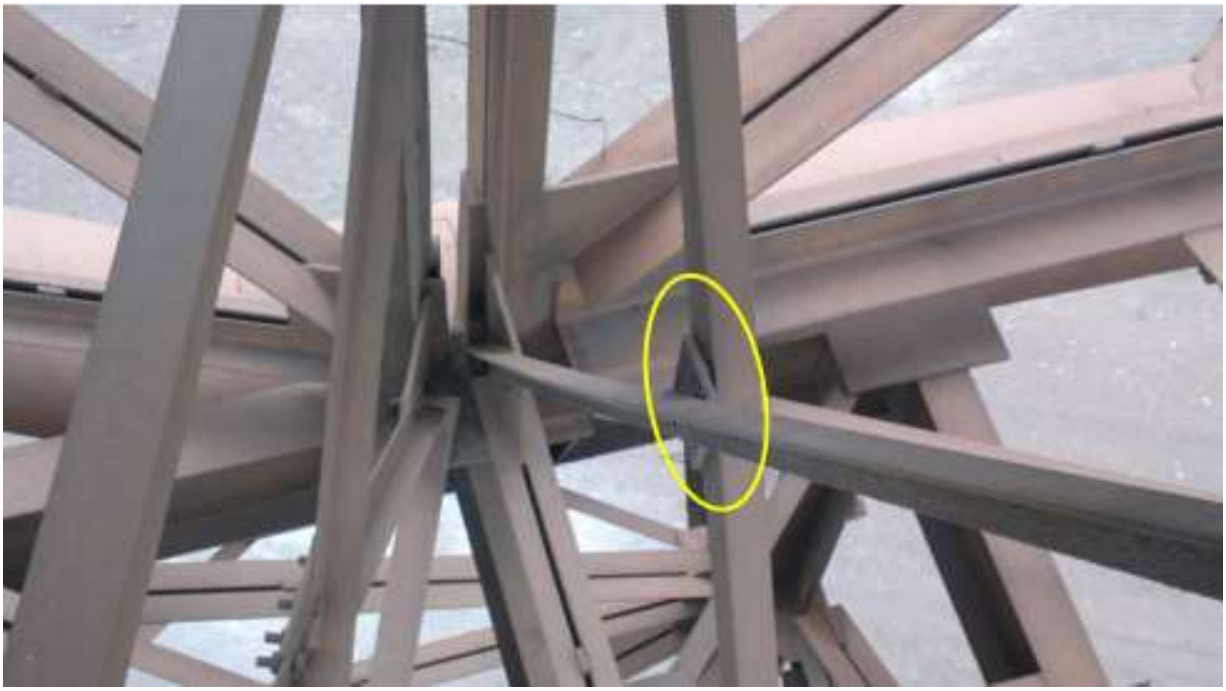


Фото 6 – Руйнування зварного шва вузлового з'єднання елементів вертикальний зв'язку пролітної будови до фасонки



Фото 7 – Механічне ушкодження полиці опори



Фото 8 – Руйнування антикорозійного покриття конструкції опори естакади

Корозія до 3% від площі поперечного перетину елементу



Фото 9 – Механічне ушкодження розкосу грат опори, погнутость f=20мм

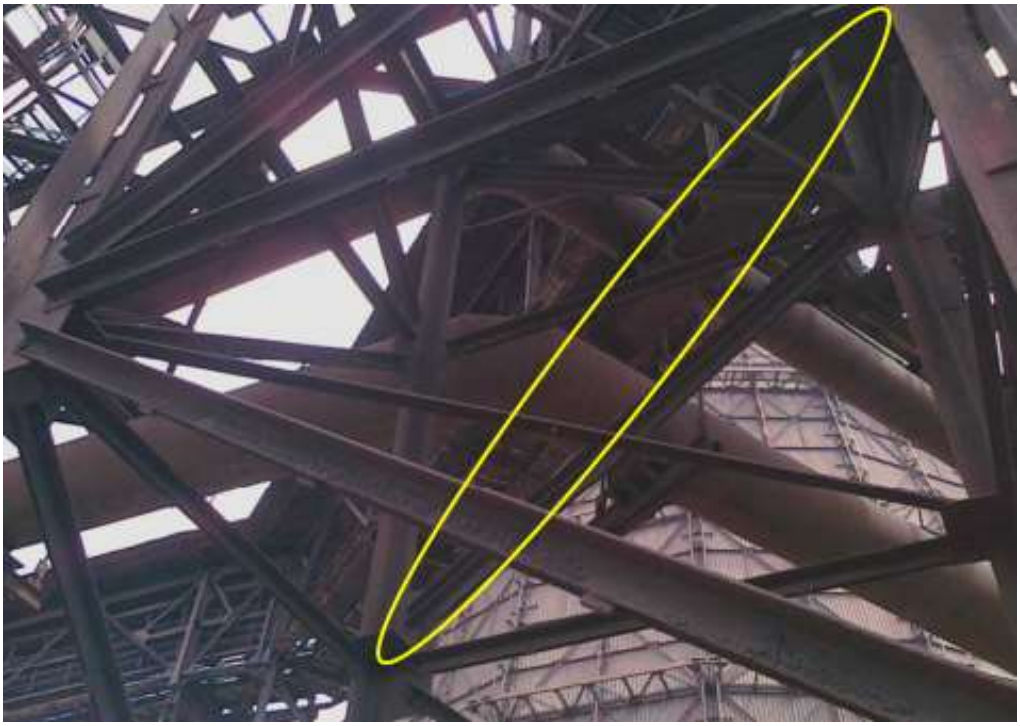


Фото 10 – Відсутність розкосу діафрагми жорсткості в опорі



Фото 11 – Механічне ушкодження - виріз ділянки підкосу опори



Фото 12 – Смалковка полиці куточка вертикального зв'язку підкосу опори



Фото 13 – Механічне ушкодження гілки опори



Фото 14 – Руйнування зварного шва кріплення куточка грат опори, смалковка полиці куточка грат опори на величину – 20мм



Фото 15 – Руйнування зварного шва кріплення розпірки грат до опори



Фото 16 – Руйнування зварних швів кріплення проміжних прокладень складових елементів в конструкції зв'язків



Фото 17 – Механічне ушкодження конструкції розпірки - деформація куточка



Фото 18 – Виріз розкосів грат опори

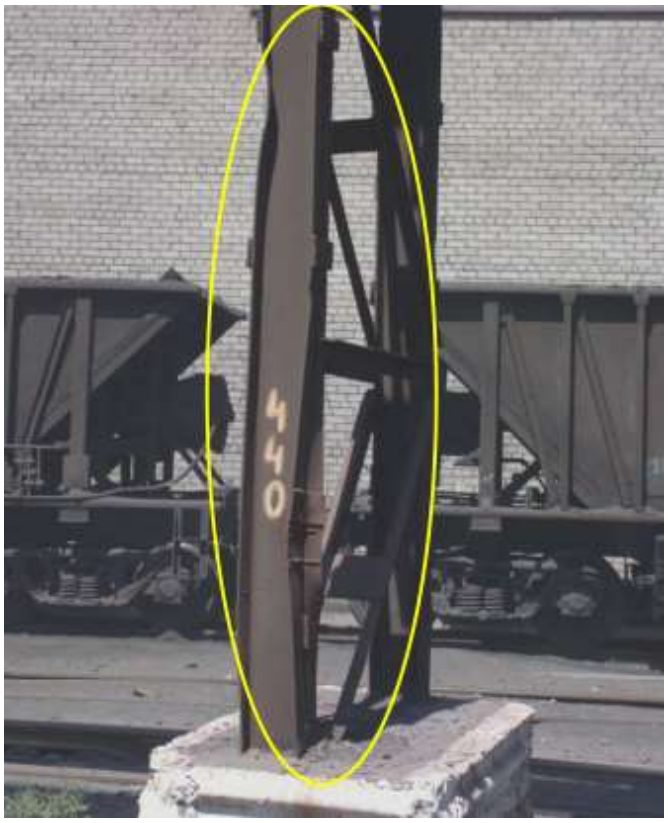


Фото 19 – Механічне ушкодження опори - погнутость гілки і елементів грати опори



Фото 20 – Виріз підкосу опори



Фото 21 – Виріз ділянок розкосу опори



Фото 22 – Механічне ушкодження підкосу опори

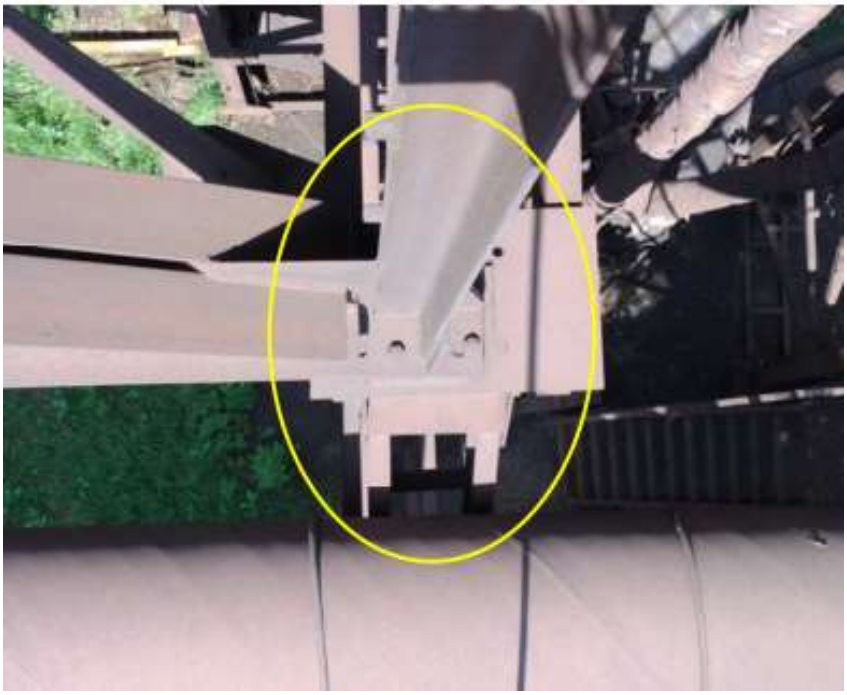


Фото 23 – Зміщення опорного вузла блоку ферм відносно проєктного положення внаслідок дефекту монтажу конструкцій (до 100 мм)



Фото 24 – Руйнування антикорозійного покриття опорної плити, корозія до 30% від площі поперечного перерізу елемента