МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота

другий (магістерський)

на тему: **«Технологія монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції теплоелектростанцій»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-пцб – 1
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітньої програми «Промислове і цивільне будівництво»
Бережний Р.С.
Керівник доц., к.т.н. Самченко Р.В.
Рецензент: ст. викл, к.т.н. Арутюнян Є.Е.

Запоріжжя
2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ

Факультет Будівництва та цивільної інженерії
Кафедра Промислового та цивільного будівництва
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
(код та назва)
Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»
(код та назва)
Спеціалізація -
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ПЦБ
проф. Арутюнян І.А.
«__» _____ 20____ року

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

Бережному Роману Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Технологія монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції теплоелектростанцій
керівник роботи Самченко Роман Васильович, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «28» ~~березня~~ 2024 року №~~360-с~~ 1486-с
1 Строк подання студентом роботи 27.11.2024 р.
2 Вихідні дані до 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*
3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Провести аналіз умов виробництва робіт на діючих теплоелектростанціях і визначити основні параметри монтажно демонтажного процесу. Розробити нові технологічні рішення заміни огороджувальних конструкцій. Розробити розрахункові схеми монтажних систем, виконати математичне моделювання та розрахунок основних елементів оснащення.*
4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) *Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань наукового напряму досліджень, результатами*

експериментальних досліджень, доказами оптимальності запропонованих методик, результатами чисельних розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних методів досліджень

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 2	Самченко Р.В., доц.		
Розділ 3	Самченко Р.В., доц.		

6 Дата видачі завдання 04.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1 Сучасний стан розвитку технологій монтажу огороджувальних конструкцій при реконструкції теплоелектростанцій	27 вересня	
2	Розділ 2 Дослідження теоретичних принципів технології безкранового монтажу	25 жовтня	
3	Розділ 3 Удосконалення технологічних процесів безкранового	22 листопада	

Студент _____ Р.С.Бережний
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Керівник роботи _____ Р.В. Самченко
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

Нормоконтроль пройдено _____ Н.О. Данкевич
(підпис) *(ініціали та прізвище)*

АНОТАЦІЯ

Бережний Р.С. Технологія монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції теплоелектростанцій.

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

Проведено детальний аналіз умов виконання робіт на діючих теплоелектростанціях, визначено ключові параметри монтажно-демонтажного процесу. Розроблено інноваційні технологічні рішення для заміни огороджувальних конструкцій головного корпусу ТЕС в умовах діючого виробництва, що дозволяють проводити роботи в будь-якій частині будівлі. Створено розрахункові схеми монтажних систем, виконано математичне моделювання та розрахунки основних елементів оснащення відповідно до запропонованої технології монтажу і демонтажу будівельних конструкцій для різноманітних умов і параметрів будівельного майданчика. Виявлено технологічні можливості та визначено області ефективного застосування монтажних систем технології безкранового монтажу в умовах діючих підприємств.

Ключові слова: установка огороджувальних конструкцій, модернізація, теплоелектростанції, безкранова технологія монтажу, технічні можливості, ефективність монтажу, інноваційні методи, безпечний монтаж.

Список публікацій магістранта:

Бережний Р.С., Самченко Р.В. Технологія монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції теплоелектростанцій.Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» (14-16 листопада 2024 р., м. Львів). Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. С. 415-417.

ABSTRAKT

Berezhny RS The technology of installation of enclosure structures during reconstruction of thermal power plants.

Qualification graduation work for the degree of higher education of the MA-Hister in the specialty 192-construction and civil engineering, scientific supervisor RV Samchenko. Zaporizhzhya National University. Yu.M. Engineering Educational and Scientific Institute Potebny, Department of Industrial and Civil Construction, 2024.

A detailed analysis of the conditions of performance of works on existing thermal power plants was carried out, the key parameters of the installation and demonstration process were determined. Innovative technological solutions have been developed to replace the enclosure structures of the main body of TPP in the conditions of existing production, which allow to carry out work in any part of the building. Estimacy schemes of installation systems were created, mathematical modeling and calculations of the basic elements of equipment were made in accordance with the proposed technology of installation and dismantling of building structures for different-manic conditions and parameters of the construction site. Technological opportunities have been identified and the fields of efficient use of installation systems of technology of non-crane installation in the conditions of existing enterprises are determined.

Keywords: installation of enclosure structures, modernization, thermal power plants, endless installation technology, technical capabilities, installation efficiency, innovative methods, safe installation.

Master's Degree List:

Berezhny RS, Samchenko RV The technology of installation of enclosure structures during the reconstruction of thermal power plants. Materials of the IX Inter-International Scientific and Practical Conference "Perspectives of Contemporary Science: Theory and Practice" (November 14-16, 2024, Lviv). Lviv: National University of Lviv Polytechnic, 2024 C. 415-417.

ЗМІСТ:

ВСТУП 9

1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ 11

1.1 Особливості та аналіз існуючих генеральних планів теплоелектростанцій 11

1.2 Особливості конструктивних рішень головних корпусів ТЕС 16

1.3 Аналіз впливу технологічних процесів на огороджувальні конструкції в період їх експлуатації 21

1.4 Аналіз монтажно-такелажного оснащення, яке застосовується при монтажі конструкцій промислових будівель 27

1.5 Аналіз існуючих технологій монтажу та демонтажу огороджувальних конструкцій при реконструкції ТЕС 29

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗКРАНОВОГО МОНТАЖУ 42

2.1 Оцінка структури технологічних процесів демонтажу та монтажу аварійних конструкцій у рамках функціонуючих теплоелектростанцій 42

2.2 Проектування монтажно-демонтажних робіт в умовах діючих ТЕС 46

2.3 Обґрунтування застосування технології безкранового монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції працюючих теплових електростанцій 50

2.4 Визначення ключових технологічних параметрів монтажних систем для технології безкранового монтажу під час реконструкції працюючих теплових електростанцій 57

2.5 Моделювання та аналіз навантажень у складових монтажних систем за різних умов виконання робіт 60

2.5.1 Підхід і результати математичного моделювання монтажної системи «Квадро-1» 61

2.5.2 Підхід і результати математичного моделювання монтажної системи «Квадро-2» 76
2.6 Аналіз розрахунків димових труб на вплив навантажень, спричинених монтажними системами «Квадро-1» і «Квадро-2» 81
2.6.1 Розрахунок димової труби на вітрові навантаження 84
2.6.2 Розрахунок димової труби на дію сейсмічних сил 86
2.6.3 Оцінка впливу вітрових навантажень і додаткового навантаження від канатної системи на димову трубу 87
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БЕЗКРАНОВОГО МОНТАЖУ 90
3.1 Оцінка технологічних можливостей та сфер раціонального використання монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2» 90
3.2 Використання димових труб як опор для монтажних систем 93
3.3 Застосування несучих конструкцій головного корпусу для монтажної системи «Квадро-2» 97
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 100
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 101

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день теплоелектростанції (ТЕС) є основними виробниками електричної енергії в Україні, забезпечуючи значну частину потреб країни в електричній енергії. Проте велика кількість огороджувальних конструкцій будівель головних корпусів цих об'єктів, збудованих ще в радянський період, перебуває в незадовільному або навіть аварійному стані, що негативно впливає на їхню ефективність і безпеку експлуатації. Враховуючи це, виникає нагальна потреба в проведенні капітального ремонту, модернізації або повної реконструкції таких будівель з заміною зношених конструкцій, які вже вичерпали свій експлуатаційний ресурс і не відповідають сучасним вимогам безпеки та енергоефективності.

Одним із найбільших викликів у вирішенні цих завдань є значні розміри основних корпусів ТЕС, обмеження в умовах забудови та недостатня потужність існуючих монтажних кранів, що ускладнює процес реконструкції. Крім того, технологічний процес виробництва електроенергії не дозволяє здійснити повну зупинку станцій для проведення ремонтних робіт, що у свою чергу створює додаткові труднощі. Потрібно розробити і впровадити технології, які забезпечать ефективну і безпечну заміну аварійних елементів без зупинки виробництва, а також мінімізують вплив на загальний процес роботи ТЕС.

Сучасні методи і технології монтажу, які застосовуються для реконструкції об'єктів, не завжди відповідають вимогам виконання повного обсягу необхідних робіт, а також часто мають високі фінансові витрати, низьку продуктивність та ефективність. Це стосується не тільки процесу монтажу, а й демонтажу старих конструкцій, що також потребує значних зусиль і нових підходів у використанні монтажного та такелажного обладнання. Існуючі засоби монтажу часто не відповідають вимогам, що виникають при реконструкції старих об'єктів, і їхнє використання вимагає значних затрат часу і ресурсів.

Тому стає очевидною необхідність розробки нових, інноваційних, науково обґрунтованих технологій монтажу огороджувальних конструкцій для головних корпусів теплоелектростанцій. Ці технології мають дозволяти ефективно і безпечно виконувати заміну аварійних конструкцій, забезпечуючи при цьому мінімальний вплив на процеси виробництва і функціонування станцій. Крім того, слід враховувати застосування новітніх видів монтажного обладнання, яке дасть змогу знижувати витрати, підвищувати продуктивність і забезпечити високу ефективність реконструкційних робіт на ТЕС.

Мета роботи — удосконалення технологій безкранового монтажу та демонтажу конструкцій під час капітального ремонту або реконструкції основних корпусів ТЕС у діючих виробничих умовах. Мета включає визначення технологічних можливостей і областей застосування запропонованих рішень.

Відповідно до поставленої мети основними **завданнями** були:

1. Зібрати та систематизувати дані про теплоелектростанції, провести аналіз існуючих технологій монтажу та демонтажу конструкцій основних корпусів ТЕС. Оцінити умови виконання робіт у діючих виробничих умовах і визначити основні параметри монтажно-демонтажного процесу.
2. Розробити нові технологічні рішення для заміни огороджувальних конструкцій основного корпусу ТЕС без зупинки виробничих процесів. Забезпечити виконання робіт у будь-якій частині будівлі.
3. Створити розрахункові схеми монтажних систем, виконати математичне моделювання та розрахунок основних елементів запропонованого монтажного обладнання. Врахувати різні параметри будівельних майданчиків.
4. Визначити технологічні можливості та межі застосування запропонованих безкранових технологій монтажу у діючих умовах.

Об'єкт дослідження — технологія безкранового монтажу огороджувальних конструкцій головних корпусів ТЕС у діючих умовах.

Предмет дослідження — критерії та параметри безкранових технологій монтажу огороджувальних конструкцій у діючих виробничих умовах.

Методи дослідження включали аналіз умов об'єктів реконструкції, визначення основних критеріїв і параметрів для проведення робіт із капітального ремонту, математичне моделювання технологічних параметрів монтажних систем.

Наукова новизна роботи полягає у такому:

- Досліджені умови виконання робіт зі заміни огороджувальних конструкцій основних корпусів ТЕС, визначені ключові фактори, що характеризують об'єкти реконструкції, зокрема однотипність генеральних планів і конструктивних рішень.
- Розроблене нове такелажне обладнання для заміни аварійних стінових панелей, що дозволяє підвищити продуктивність праці та безпеку виконання робіт.

Апробація роботи. Основні положення роботи опубліковані на IX Міжнародній науково-практичній конференції «Perspectives of contemporary science: theory and practice» у секції «Технічні науки» (2024, м. Львів).

Структура роботи. Структурно робота складається з вступу, трьох розділів, висновків. Загальний обсяг 102 сторінки. Включає 43 рисунка, 8 таблиць, список використаної літератури з 19 пунктів.

1 СУЧАСНИЙ СТАН РОЗВИТКУ ТЕХНОЛОГІЙ МОНТАЖУ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Особливості та аналіз існуючих генеральних планів теплоелектростанцій

На сьогоднішній день теплоелектростанції (ТЕС) залишаються основними виробниками тепла та електричної енергії в Україні. Їхні генеральні плани, як правило, мають багато спільного: схожі структури, призначення будівель, розташування споруд, виробничі лінії та технологічні процеси, які в них реалізуються [10]. Однак кожна ТЕС відрізняється продуктивністю, а також пропорцією виробленого тепла та електроенергії.

Розташування будівель та споруд, а також їх кількість і функціональне призначення строго регламентуються технологічним процесом, якому підпорядковується проєктування. Через суворі екологічні вимоги та прагнення до енергозбереження проєктування таких підприємств базується на застосуванні уніфікованих генеральних планів. Розташування основних будівель і споруд на території всіх ТЕС є практично ідентичним. Як приклад, на рис. 1.1 подано типовий уніфікований план середньої потужності ТЕС, що включає головний корпус і прилеглу територію.

Основні елементи ТЕС, які залежать від технологічного процесу та використовуваного палива, включають: головний виробничий корпус, димові труби, димососне відділення, відкритий розподільчий пристрій (ВРП), цех хімічної водоочистки і водопідготовки, градирні, допоміжні будівлі, інженерні комунікації (теплопостачання, газопостачання тощо).

До переліку енергетичних об'єктів, окрім ТЕС, входять котельні, які забезпечують теплом і гарячою водою окремі райони міст і населених пунктів. Наприклад, на рис. 1.2 наведено частину генерального плану Харківської ТЕС-5, побудованої в період з 1970 по 1975 роки. Цю станцію можна віднести до невеликих енергетичних об’єктів.

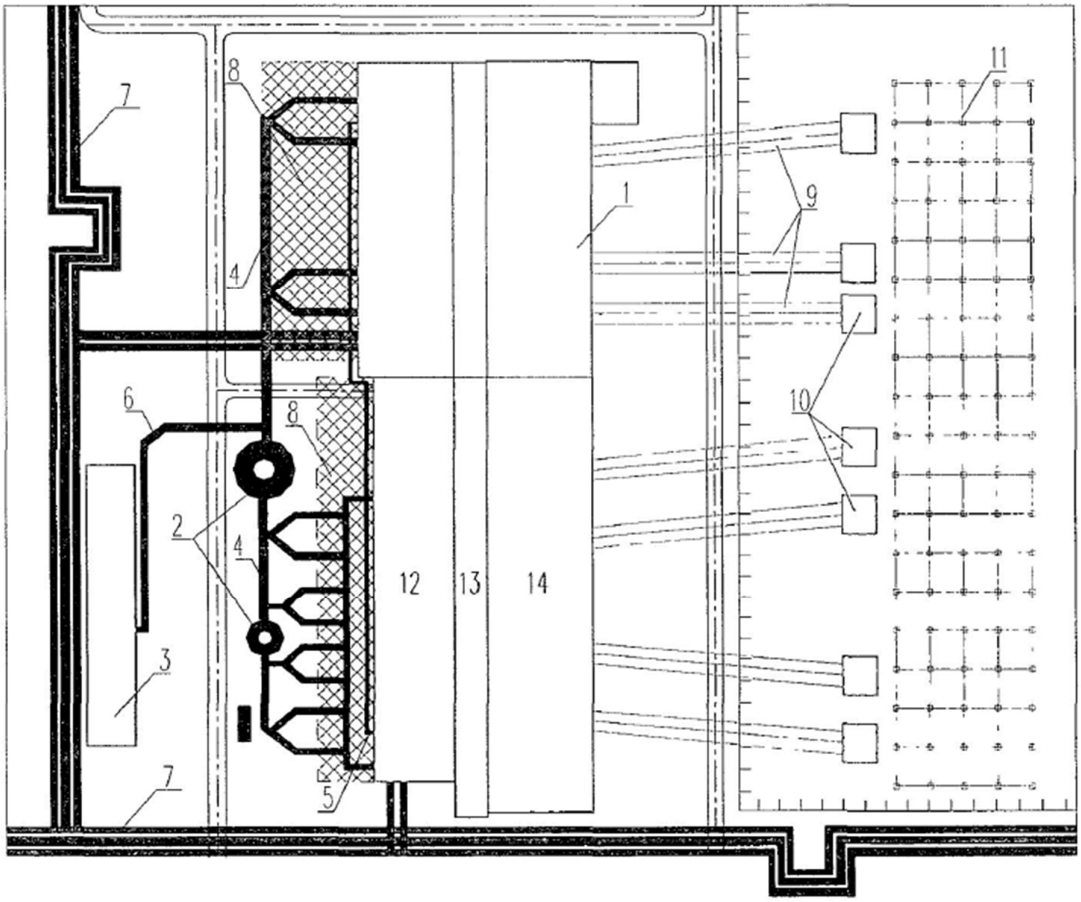


Рисунок 1.1 – Типовий план ТЕС середньої потужності:
1-головний корпус; 2-димові труби; 3-пікова котельня; 4-димоходи; 5-газопровід; 6-димоход пікової котельні; 7- надземні теплопроводи і інженерні комунікації; 8-зони робота мостового або козлового кранів димососним відділення; 9- виводять струмопроводи; 10-трансформаторні підстанції; 11-відкритий розподільчий пристрій (ВРП); 12- котельне відділення головного корпусу; 13-турбінне відділення головного корпусу; 14-деаераторне відділення головного корпусу

Вона забезпечує теплом і гарячою водою житлові мікрорайони Харкова. До складу цієї котельні входять основний виробничий корпус, залізобетонна димова труба висотою 150 м, допоміжні споруди, підвідні та відвідні інженерні комунікації. Димова

труба розташована в безпосередній близькості до головного корпусу зі сторони теплових і водогрійних котлів, і служить для відведення димових газів.

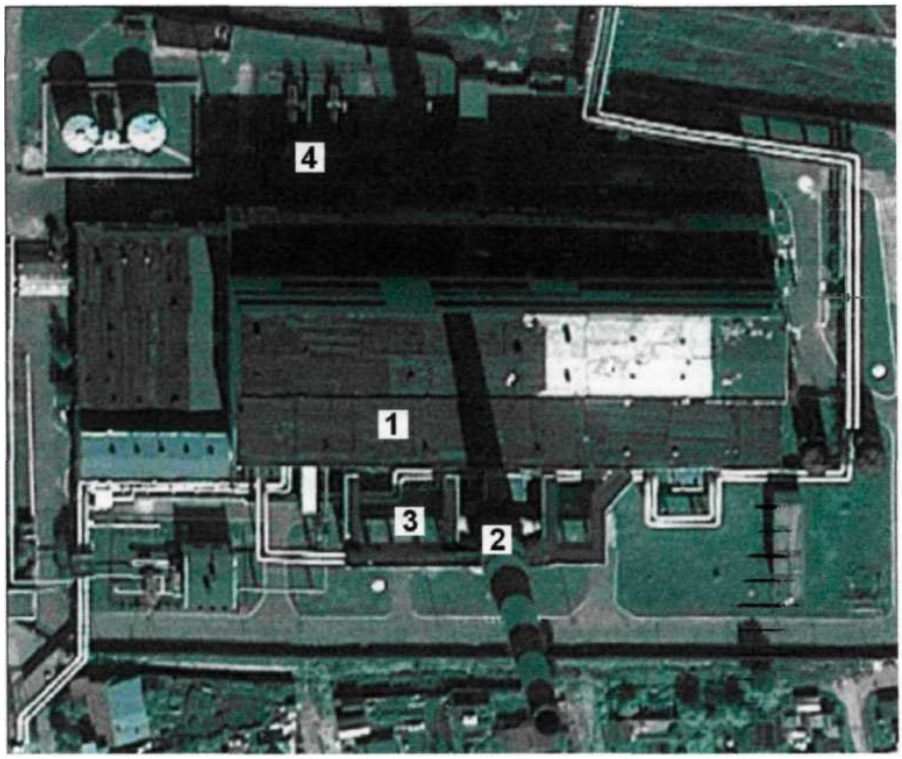


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд Харківської ТЕС-5:
1-головний корпус; 2-димова труба; 3-димососним відділення;
4-теплопроводи і інженерні комунікації

На рис. 1.3 зображено Черкаську ТЕС, яка була введена в експлуатацію у 1972 році. До складу цієї теплоелектростанції входять 7 цехів, 9 відділів і 3 лабораторії. Основним паливом є природний газ, а резервним — мазут. Ця електростанція забезпечує понад половину міста Черкаси теплом та електроенергією, обслуговуючи понад мільйон мешканців, 80% з яких — населення, а також промислові підприємства міста. Димові труби висотою 180 та 240 м розташовані зі сторони котельного відділення основного корпусу і через систему димоходів відводять гази з котлів. Головний корпус з усіх боків оточений інженерними комунікаціями, необхідними для забезпечення технологічного процесу виробництва тепла та електроенергії.

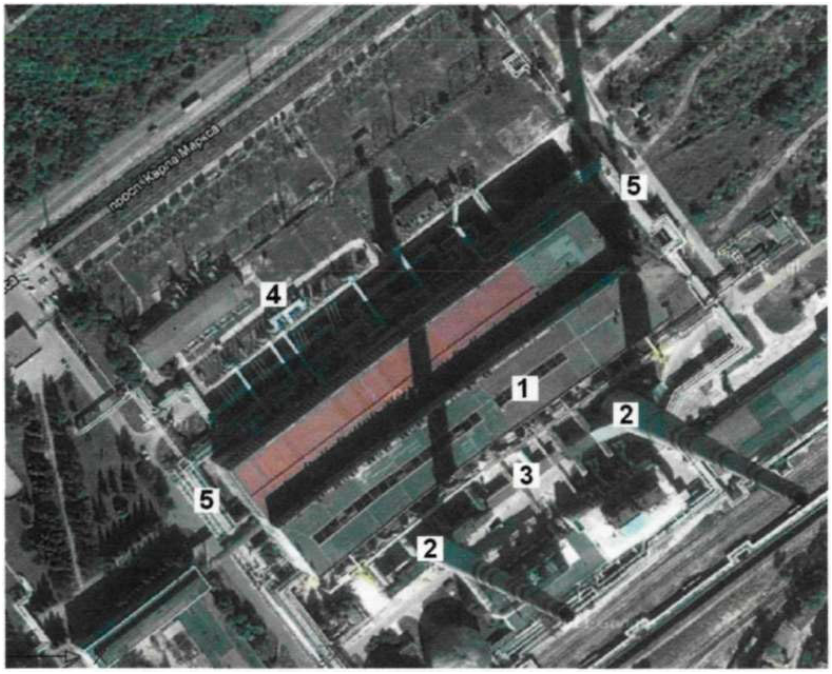


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд Черкаської ТЕС:
1 головний корпус; 2 - димові труби; 3 - димососним відділення; 4 - відкритий розподільчий пристрій (ВРП); 5 - теплопроводи і інженерні комунікації

Київська ТЕС, що представлена на рис. 1.4, будувалася у три черги з 1965 до 1976 року. Її можна віднести до великих енергетичних підприємств. Ця станція постачає тепло та електроенергію стратегічним об’єктам, а також забезпечує резервне енергопостачання для ближніх регіонів. Головний корпус ТЕС має довжину понад 500 м, а електроенергія генерується 12 турбінами різної потужності. Димові гази відводяться чотирма залізобетонними трубами висотою від 120 до 240 м [11]. Розташування основних і допоміжних будівель, споруд та інженерних комунікацій відповідає вимогам технологічного процесу.

Сучасні теплоелектростанції демонструють уніфіковані підходи до розробки генеральних планів, що враховують основні вимоги до продуктивності, екологічності та енергоефективності. Разом з тим, кожна ТЕС зберігає свої особливості, які визначаються типом палива, специфікою технологічних процесів та обсягами енергетичного виробництва.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд Київської ТЕС:
1 головний корпус; 2 - димові труби; 3 - димососним відділення; 4 - відкритий розподільчий пристрій (ВРП); 5 - теплопроводи і інженерні комунікації

Як видно з типової частини генерального плану ТЕС (рис. 1.1) та супутникових фотографій реальних теплоелектростанцій (рис. 1.2–1.4), на всіх станціях, незалежно від їхньої потужності, між димарями та головним корпусом розташоване димососне відділення. Це відділення є ключовим елементом, що забезпечує транспортування димових газів від котлів до димових труб. У димососному відділенні зазвичай розміщують підкранову естакаду, обладнану мостовими або напівкозловими кранами з вантажопідйомністю 25–50 тонн. Уздовж усього котельного відділення після підкранової естакади проходить мережа димоходів, через які відбувається транспортування газів до димарів.

З цієї ж сторони головного корпусу прокладено магістральні газопроводи, що подають природний газ для роботи котлів. Іноді використовують мазут або вугілля, але це менш поширено. У димососному відділенні також розміщуються висновки теплопроводів, які забезпечують постачання тепла та гарячої води споживачам. З протилежного

боку головного корпусу, де знаходиться турбінне відділення, розташовуються силові токопроводи. Ці токопроводи, які зазвичай монтують на висоті 10–15 метрів, передають вироблену електроенергію від турбін до системи трансформаторних підстанцій. Згодом через відкритий розподільчий пристрій (ВРП) електричний струм розподіляється по високовольтних лініях електропередач до споживачів.

Аналіз існуючих генеральних планів ТЕС показує, що димові труби, призначені для відведення димових газів, завжди розташовані зі сторони котельного відділення та знаходяться на невеликій відстані від головного корпусу. У сучасних теплоелектростанціях та великих котельнях, як правило, є від однієї до чотирьох димових труб із залізобетону, висота яких варіюється від 100 до 430 метрів.

Велика кількість інженерних мереж та комунікацій, що входять і виходять із головного корпусу ТЕС, створює значні труднощі для виконання будівельно-монтажних робіт у діючих підприємствах. Наявність цих мереж може ускладнити, а іноді й унеможливити виконання певних технічних операцій. Доступ до головного корпусу на рівні землі зазвичай забезпечується лише через його торцеві частини, що також обмежує можливості для організації робіт в умовах експлуатації підприємства.

Таким чином, інженерні рішення, прийняті під час проєктування ТЕС, враховують специфіку експлуатації та технологічні потреби, однак вони створюють додаткові виклики під час проведення реконструкції або технічного обслуговування в умовах діючих енергетичних об’єктів.

1.2 Особливості конструктивних рішень головних корпусів ТЕС

Головний корпус теплоелектростанції є ключовою спорудою, спроєктованою з урахуванням вимог технологічного процесу. З конструктивної точки зору, це багатоярусна павільйонна будівля, яка виконує роль технологічної етажерки. На рис. 1.5 пред-

ставлений типовий розріз головного корпусу, що ілюструє розташування основного технологічного обладнання.

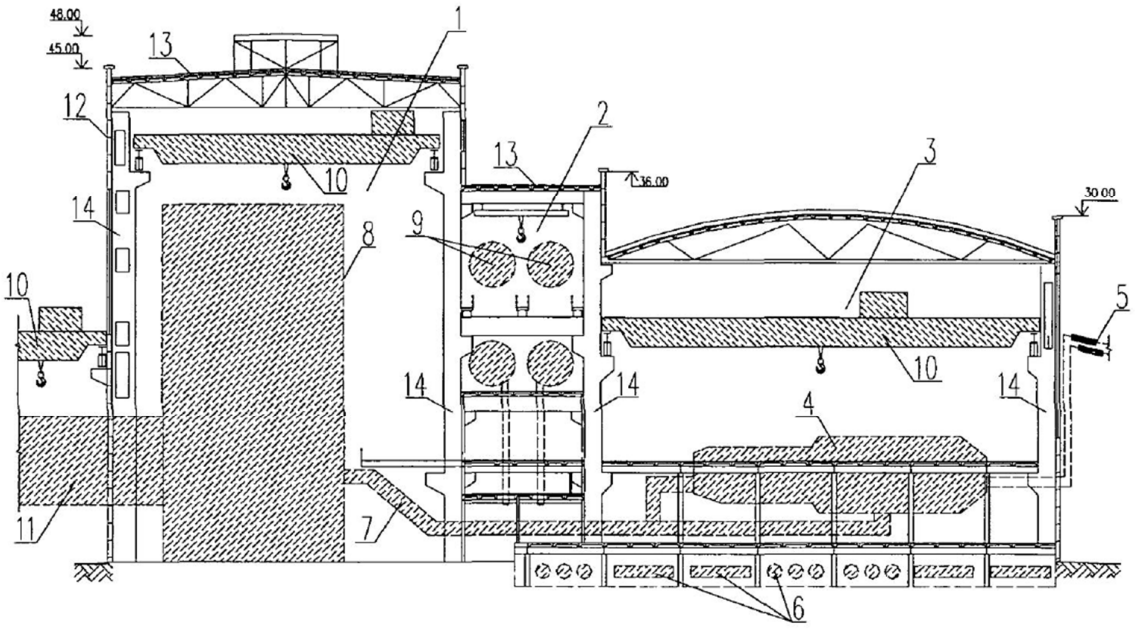


Рисунок 1.5 – Розріз головного корпусу ТЕС:

1-котельне відділення; 2 - деаераторне відділення; 3 - турбінне відділення; 4 електрична турбіна; 5 - виводять струмопроводи; 6 - підводять і виводять інженерні комунікації; 7- паропровід; 8 - котел; 9 - деаератори; 10 - мостові крани; 11- димоходи; 12 - огороджувальні стінові панелі; 13 - плити покриття; 14 - колони каркаса

Габарити головного корпусу в плані варіюються залежно від кількості та потужності котлів і турбін. У більшості випадків ширина становить 60–85 м, довжина — від 120 до 530 м і більше. Каркас будівлі є несучим, виконаним у вигляді комбінації збірних залізобетонних і металевих конструктивних елементів. У робочих проєктах передбачено використання типових фундаментів, колон, ригелів, плит перекриття та огороджувальних конструкцій зі збірного залізобетону.

Каркас корпусу складається з багатоярусних рам із жорсткими вузлами. Для ти-

пізації та уніфікації конструкцій були розроблені спеціальні серії будівельних елементів, які широко застосовуються при зведенні промислових споруд, зокрема й енергетичних об'єктів.

Типова будівля головного корпусу ТЕС має, як правило, три основні прольоти (іноді чотири):

1. Машинний зал (турбінне відділення) з прольотом 30–39 м і висотою до 30 м.

2. Деаераторне та бункерне відділення (якщо використовується вугілля як паливо) з прольотом 12 м і висотою до 48 м.

3. Котельне відділення, яке має прольот до 30–36 м і висоту 52 м і більше.

Висота й ширина цих відділень залежать від потужності та типу технологічного обладнання, що встановлюється.

Через відмінності в технологічних процесах охолодження води або інших аспектів виробництва, склад і розташування обладнання можуть змінюватися, однак основні конструктивно-планувальні рішення залишаються аналогічними. Крок колон основного каркаса зазвичай становить 6 або 12 м. Деаераторне відділення є багатоповерховою частиною будівлі, тоді як турбінне й котельне відділення здебільшого одноповерхові.

Основні частини корпусу часто будують із використанням збірних залізобетонних конструкцій. Великі прольоти перекривають металевими фермами, а колони каркаса найчастіш виконуються зі збірно-монолітного залізобетону, рідше — із металу.

Для обслуговування технологічного обладнання передбачено мостові крани вантажопідйомністю 50–100 тонн і більше. Підкранові балки виконуються з металевих зварних конструкцій, що забезпечує надійність у роботі з важким обладнанням.

Огороджувальні конструкції (покриття та перекриття) здебільшого виконуються з ребристих залізобетонних плит, які відповідають кроку несучих стропильних конструкцій. Такі плити виготовляються довжиною 6 або 12 м, шириною 1,5 або 3 м. Поздовжні ребра плит мають висоту 0,3 м для плит довжиною 6 м і 0,45 м для плит довжиною 12 м. Поперечні ребра висотою до 0,15 м розташовані через 0,5 або 1 м залежно від снігового навантаження.

Плити шириною 3 м та довжиною 12 м мають посилене поздовжнє ребро для

додаткової міцності. Вони армуються напруженою стрижневою або дротяною арматурою, каркасами та сітками, які розташовуються в ребрах і полицях. Для виготовлення використовуються важкі бетони марок 400 і 500 [5]. Маса таких плит варіюється від 1 до 7 тонн залежно від розмірів.

Під час монтажу плити покриття приварюються до стропильних конструкцій мінімум у трьох точках, що забезпечує надійність і стабільність конструкції.

На рис. 1.6 показано загальний вигляд ребристих плит покриття серії 1.465-3, які широко застосовуються при будівництві промислових споруд, у тому числі на об'єктах теплоелектростанцій.

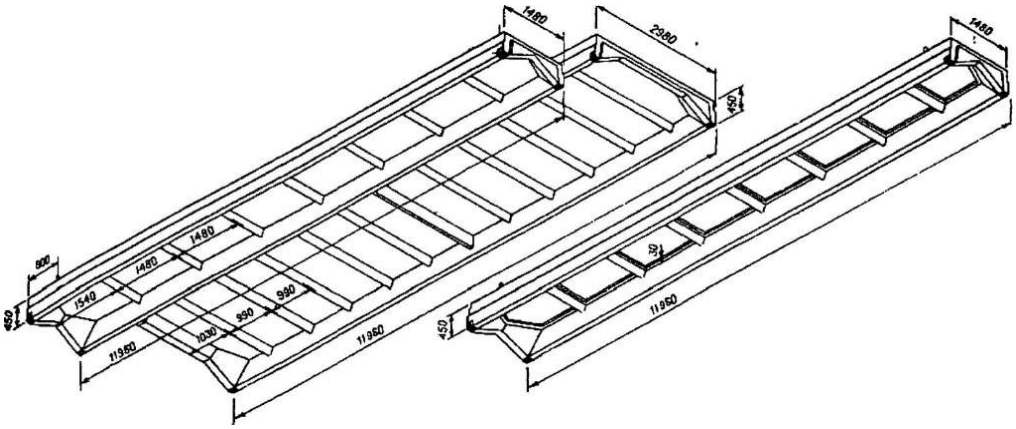


Рисунок 1.6 – Ребриста плита покриття довжиною 12 м по серії 1.465-3; 7

Таким чином, конструктивні рішення головного корпусу ТЕС розроблені з урахуванням специфіки технологічного процесу, забезпечуючи одночасно функціональність, міцність і економічну доцільність. Використання типових конструктивних елементів сприяє уніфікації проєктів, а також значно полегшує будівельно-монтажні роботи.

В якості огороджувальних конструкцій стін головних корпусів ТЕС найширше застосовуються стінові панелі, які мають різні варіанти розташування та виконання залежно від технічних і архітектурних вимог. Ці панелі поділяються на кілька типів залежно від їхнього призначення: рядові, кутові, перемичкові, посилені (для прийняття вітрових навантажень), підкарнизні, парапетні та простінкові (встановлюються між віконними прорізами).

Довжина стінових панелей зазвичай відповідає кроку колон. Номінальні розміри таких панелей, за винятком кутових і простінкових, складають 6 або 12 м у довжину, висота варіюється від 0,9 до 1,8 м, а товщина залежить від застосованих матеріалів і обладнання — 200, 240 або 300 мм.

Залежно від конструктивного рішення стін головного корпусу ТЕС, використовуються дві основні схеми: навісна і самонесуча. Навісна система характерна стрічковою системою скління, що має роздільні віконні прорізи. У таких панелях верхні і нижні частини стін спираються на сталеві консолі, які приварюються до колон. Самонесучі стіни мають жорстку конструкцію, яка дозволяє витримувати власну вагу та додаткові навантаження.

Одношарові панелі з пористих бетонів виготовляються з автоклавного пористого бетону марок М25 і М35, з об'ємною масою 550–800 кг/м³. Вони мають хороші теплоізоляційні властивості та достатню міцність. Одношарові панелі з легких бетонів виготовляються з матеріалів, таких як керамзитобетон, перлітобетон та шлак-пемзобетон марок не нижче М50, з об'ємною масою 900–1600 кг/м³. Їхні зовнішні поверхні вкриваються шаром цементного розчину товщиною 20 мм марки М100, що забезпечує гладку та міцну поверхню.

Тришарові панелі складаються з двох залізобетонних плит та шару утеплювача між ними. Для плит використовують важкий бетон марки М200, а утеплювачем служать напівтверді мінераловатні плити товщиною 40 або 60 мм.

Для виготовлення панелей довжиною 12 м застосовують технологію попереднього напруження робочої арматури класу А-Шв. Панелі довжиною 6 м армуються зварними каркасами та арматурними сітками з арматури класів А-І та А-Ш. Кріплення панелей у проєктному положенні здійснюється за допомогою закладних деталей, що передбачаються в конструкції.

Маса стінових панелей залежить від їхньої конструкції, матеріалів і габаритів. Вона варіюється в межах від 1 до 8 тонн, що дозволяє обирати панелі відповідно до навантажень і технічних вимог.

Завдяки різноманітності конструктивних рішень стінові панелі є універсальними

елементами для зведення головних корпусів ТЕС. Вони забезпечують необхідну теплота звукоізоляцію, витримують високі навантаження, а також сприяють оптимізації будівельного процесу завдяки типовим розмірам і уніфікованим рішенням.

1.3 Аналіз впливу технологічних процесів на огороджувальні конструкції в період їх експлуатації

Протягом всього періоду експлуатації теплоелектростанцій будівельні конструкції постійно піддаються впливу ряду негативних факторів, які з часом значно знижують їхню довговічність і експлуатаційні характеристики. Серед основних чинників можна виділити виділення значних обсягів тепла і вологи всередині головного корпусу, різкі перепади температур, сезонні зміни вологісного режиму, снігові навантаження, а також дію агресивних хімічних компонентів, що утворюються в процесі горіння палива.

Значний вплив на стан конструкцій мають викиди пари та оксидів продуктів горіння. Їхнє поєднання з підвищеною температурою спричиняє активну хімічну корозію бетону та арматури. Особливо це проявляється взимку, коли внаслідок низьких зовнішніх температур відбувається конденсація пари в товщі або на поверхні будівельних конструкцій. До хімічної корозії додаються циклічні процеси "заморожування-відтавання", які призводять до фізичних деформацій та поступового руйнування матеріалів огороджувальних конструкцій.

У таблиці 1.1 наведена оцінка технічного стану будівельних конструкцій, підготовлена на основі аналізу чинних нормативних і технічних документів [2-4]. Ця оцінка дозволяє класифікувати стан конструкцій за чотирма категоріями залежно від наявності дефектів і рівня пошкоджень.

Таблиця 1.1 - Загальна оцінка технічного стану будівельних конструкцій

Категорії	Стан конструкції	Загальні ознаки, що характеризують стан конструкції
1	нормальне	відсутні видимі пошкодження і тріщини, які свідчать про зниження несучої здатності конструкцій
2	задовільне	незначні пошкодження, на окремих ділянках є окремі раковини, вибоїни, волосяні тріщини. Антикорозійний захист має часткові пошкодження. Забезпечуються нормальні умови експлуатації
3	незадовільне	є ушкодження, дефекти і тріщини, які свідчать про обмеження працездатності і зниженні несучої здатності конструкцій. Порушено вимоги діючих норм, але відсутня небезпека обвалення і загроза безпеки працюючих
4	аварійне	існуючі пошкодження свідчать про непридатність конструкції до експлуатації і про небезпеку її обвалення, про небезпеку перебування людей в зоні обстежуваних конструкцій

Аналіз даних, отриманих у процесі експлуатації теплоелектростанцій, а також результати комплексних обстежень, проведених на об'єктах енергетики такими організаціями, як ВАТ «Фірма ОРГРЕС» (відомий центр організації та раціоналізації роботи районних електростанцій і мереж), а також підприємствами «Татенерго», «Чувашенерго» і «Самаренерго», свідчать про те, що найбільші пошкодження спостерігаються в огороджувальних конструкціях будівель головного корпусу. Зокрема, до найбільш уразливих елементів належать стінові панелі та ребристі плити покриття.

Ці конструкції піддаються інтенсивним корозійним процесам через поєднання хімічних і фізичних чинників. Зокрема, руйнування стінових панелей може бути

пов’язане з недостатньою вологостійкістю матеріалів, використаних у їх виготовленні, а також із регулярним впливом циклів заморожування та відтавання. Ребристі плити покриття, у свою чергу, зазнають значних навантажень як від атмосферних впливів (сніг, дощ, сонячна радіація), так і від внутрішніх процесів, таких як високі температури та вологість.

Враховуючи ці фактори, підтримання технічного стану огороджувальних конструкцій є важливим завданням, що потребує регулярного моніторингу, своєчасного ремонту та застосування сучасних матеріалів, стійких до корозійних і кліматичних впливів. Це дозволить продовжити термін експлуатації будівельних конструкцій і забезпечити стабільну роботу теплоелектростанцій навіть у складних умовах експлуатації.

Ступінь зносу будівельних конструкцій головного корпусу ТЕС варіюється залежно від їхнього розташування та умов експлуатації. Найбільша кількість пошкоджень спостерігається у стінових панелях верхніх рядів, розташованих по периметру головного корпусу, а також у плитах покриття котельного та деаераторного відділень (рис. 1.8, 1.9, 1.10). Типові пошкодження включають розшарування конструкцій, руйнування зовнішнього шару та його обвалення, оголення робочої арматури і утворення наскрізних тріщин силового характеру.

Основними деструктивними факторами, що впливають на ці конструкції, є виділення значної кількості тепла і вологи під час виробничих процесів, температурний градієнт, сезонні зміни вологісного режиму, снігові навантаження, а також дія агресивних хімічних компонентів, які утворюються в процесі горіння палива. Вплив цих факторів не є постійним і змінюється залежно від особливостей технологічних процесів і погодних умов [9].

Однією з причин, що підсилюють негативний вплив на конструкції, є незадовільний стан скління на верхніх рівнях корпусу, а також неправильна експлуатація вентиляційних ліхтарів у котельному відділенні. Це значно збільшує залежність температурно-вологісного режиму всередині корпусу від зовнішніх погодних умов. Вказані фактори призводять до таких негативних наслідків:

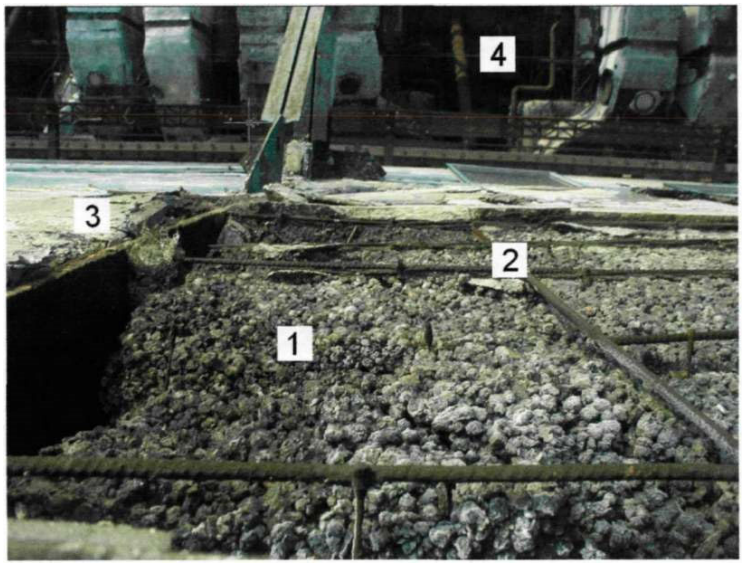


Рисунок 1.8 – Незадовільний стан стіновий панелі з корозією робочої арматури:
1-руйнування захисного шару стіновий панелі; 2 - корозія і вигин робочої арматури; 3 - випинання захисного шару; 4 - димососним відділення

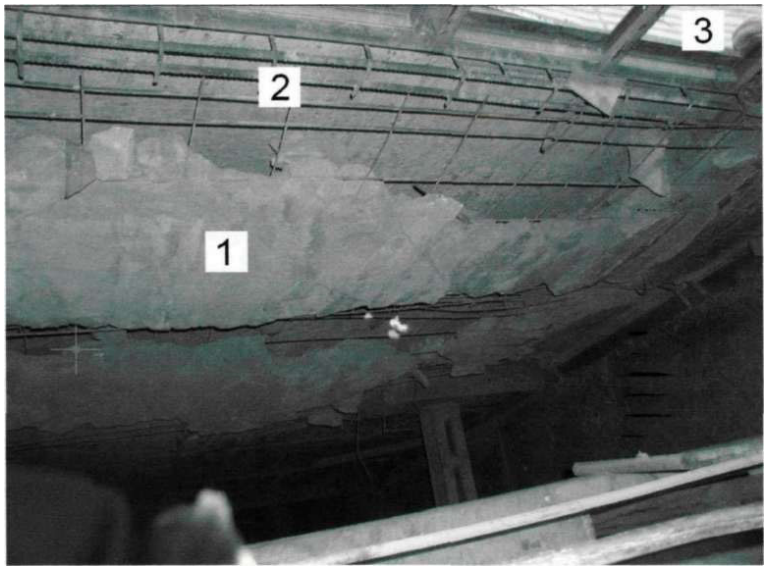


Рисунок 1.9 – Аварійний стан стінової панелі:
1 - внутрішній захисний шар; 2 - руйнування тіла стіновий панелі з оголенням робочої арматури; 3 – віконний блок

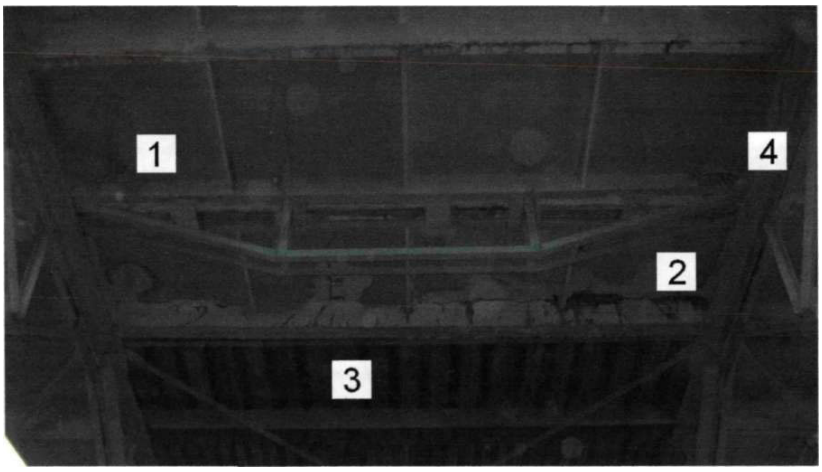


Рисунок 1.10 – Стан плит покриття головного корпусу ТЕС:
1 -незадовільний стан ребристою плити; 2 - аварійна плита з посиленням поздовжніх ребер; 3 - нові конструкції покриття; 4 - кроквяна металева ферма покриття

- Конденсація парів, що містять сірчисті сполуки, спричиняє хімічну корозію бетону.

- Підвищення пористості бетону знижує його захисні властивості, що запускає корозійні процеси арматури.

- Метал, кородуючи, збільшується в об'ємі у 3–5 разів, розриваючи ослаблений бетон і викликаючи обвалення захисного шару.

Розвиток цих процесів призводить до зниження показників міцності та жорсткості конструкцій, викликаючи розшарування, прогини, тріщини. У фінальній стадії це може спричинити руйнування основного матеріалу конструкції і створити ризик її обвалення.

Для стінових панелей основними причинами обвалення є накопичення прогинів у площині стіни, які перевищують допустимі значення, або руйнування опорних вузлів. У плитах покриття обвалення зазвичай пов’язане з одночасною дією корозії бетону, корозійних процесів у робочій арматурі та значного збільшення тимчасового навантаження, наприклад, через сезонні снігові опади.

Особливо небезпечними є конструкції, які мають значні пошкодження зовнішніх

шарів, а також дефекти заставних деталей. Це проявляється у вигляді тріщин навколо заставних деталей, щілин між пластиною заставної деталі і тілом бетону, підвищеної піддатливості цих зон. Обвалення захисного шару бетону може статися через поєднання вітрових навантажень та розширення продуктів корозії арматури, а також через циклічні процеси заморожування-відтавання.

Розхитування заставних деталей відбувається під дією динамічних впливів, зокрема пульсаційної складової активного і пасивного вітрового навантаження. Ці процеси не лише знижують експлуатаційні характеристики конструкцій, а й створюють безпосередню загрозу для безпечної роботи об'єкта.

Для мінімізації ризиків необхідно регулярно проводити технічний огляд і профілактичні роботи, спрямовані на усунення зазначених дефектів та зміцнення конструкцій, особливо в найбільш уразливих зонах.

Аналіз проведених робіт із комплексного технічного обстеження головних корпусів ТЕС, побудованих у період 1950–1980 років, показує, що від 10 до 30% огороджувальних конструкцій, зокрема залізобетонних плит покриття та стінових панелей, належать до 3-ї та 4-ї категорій технічного стану. Такі конструкції згідно з чинними нормативними документами класифікуються як непридатні до подальшої безпечної експлуатації. Їхній стан вимагає або повної заміни, або посилення для забезпечення надійності.

Згідно з оцінкою ефективності ремонтних заходів, капітальний ремонт або посилення з відновленням експлуатаційних характеристик є доцільним для конструкцій, що належать до 2-ї категорії технічного стану. У випадках, коли заміна конструкцій неможлива, такі заходи можуть застосовуватися і до конструкцій 3-ї категорії. Однак конструкції, що перебувають у незадовільному або аварійному стані, втратили значну частку своєї міцності й експлуатаційних властивостей. Їхнє відновлення є неефективним через високу трудомісткість і матеріальні витрати, які не гарантують повного відновлення технічних характеристик і продовження терміну експлуатації на довгий період.

Особливу увагу при плануванні ремонтно-відновлювальних робіт потрібно приділяти тому, що теплоелектростанції є особливо небезпечними стратегічними об'єктами. Обвалення навіть незначної частини будівельної конструкції з висоти понад

30 метрів може спричинити серйозні аварії, пошкодження технологічного обладнання, а також загрозу життю працівників. Умови діючого виробництва значно ускладнюють проведення ремонтних робіт, і багато з існуючих технічних рішень щодо посилення аварійних конструкцій, які використовуються в інших промислових будівлях, не забезпечують довготривалої надійності й безпеки. Такі рішення часто потребують постійного нагляду та додаткового контролю, що збільшує витрати на експлуатацію.

Аналіз надійності та ефективності тимчасових рішень для посилення конструкцій і запобігання аварійним ситуаціям свідчить про необхідність демонтажу аварійних елементів та їхньої заміни. Нові будівельні конструкції мають виготовлятися з сучасних матеріалів, які забезпечують високу довговічність, стійкість до агресивних середовищ і здатність витримувати всі необхідні навантаження. Такий підхід дозволить не тільки уникнути потенційних аварій, але й гарантувати безпечну та безперебійну експлуатацію теплоелектростанцій на довгострокову перспективу.

1.4 Аналіз монтажно-такелажного оснащення, яке застосовується при монтажі конструкцій промислових будівель

Для монтажу стінових панелей та плит покриття під час будівництва промислових споруд використовують такелажне оснащення, яке підбирається залежно від типу, розмірів і способу монтажу конструкцій, визначених проєктом. Стропування конструкцій здійснюється за допомогою універсальних або спеціалізованих (розроблених для конкретних конструкцій) стропів і траверс [5].

Стінові панелі та залізобетонні плити покриття, як правило, стропуються через забиті монтажні петлі або спеціально передбачені стропувальні отвори. Для монтажу стінових панелей довжиною до 6 метрів використовують двогілкові стропи типу 2СК. У випадку ребристих залізобетонних плит покриття або перекриття такої ж довжини

застосовують чотиригілкові стропи типу 4СК. За вимогами безпеки вантажопідйомність стропів та їхніх елементів повинна бути щонайменше на 25% більшою за номінальне статичне навантаження.

Підйом конструкцій довжиною 12 метрів і більше за допомогою стропів вважається небажаним через обмеження висоти підйому гака крана, а також через виникнення значних розтягувальних і стискаючих зусиль у стропах та підійманому елементі. У таких випадках для стропування конструкцій довжиною 12 метрів (інколи також для елементів довжиною 6 метрів) використовують балкові або гратчасті траверси. Балкові траверси забезпечують більш рівномірний розподіл навантаження та знижують ризик пошкодження конструкцій, хоча висота підйому гака при цьому зменшується.

Типовий приклад траверс для монтажу стінових панелей та плит покриття представлений у розробках ЦНИИОМТП. Ці траверси мають вантажопідйомність до 10 тонн і виготовляються у вигляді ферми з вершиною, зверненою вниз. Балка траверси виготовляється зі швелера №14, а нижні розкоси — з двох швелерів №10. Маса таких траверс залежить від їхньої довжини і становить приблизно 412 кг для довжини 6 метрів і 460 кг для 10 метрів, при цьому загальна висота траверси близько 1,5 метрів [4].

Наразі відсутні типові конструкції монтажного та такелажного оснащення, призначені для стропування аварійних стінових панелей і залізобетонних ребристих плит покриття. У разі необхідності заміни таких конструкцій використовується оснащення, яке модифікується для кожного конкретного випадку. Це значно ускладнює та уповільнює проведення робіт.

Таким чином, існує гостра потреба у створенні стандартизованих технологічних рішень і оснастки, які забезпечать надійне стропування та утримання конструкцій під час переміщення, особливо якщо вони перебувають в аварійному або незадовільному стані. Розробка таких рішень дозволить значно підвищити безпеку та ефективність монтажних і демонтажних робіт у складних умовах.

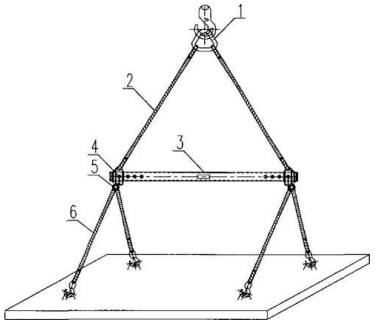


Рисунок 1.11 – Схема стропування за допомогою балочной траверси:
1,5 роз'ємні підвіски; 2 - канат-розтяжка; 3 - балка; 4 - замок кріплення;
6 - канатні стропи

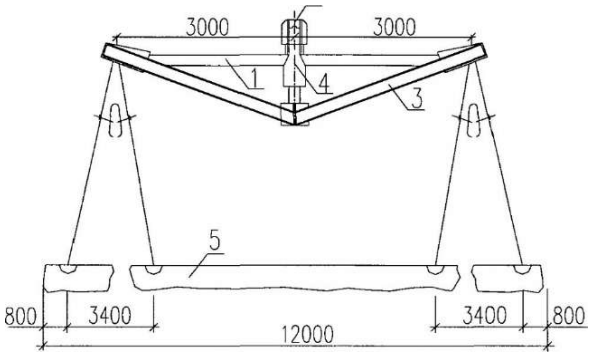


Рисунок 1.12 – Гратчаста траверса:
1 - зв'язок; 2 - підвіска; 3 - балка; 4 - стійка; 5 - панель

1.5 Аналіз існуючих технологій монтажу та демонтажу огороджувальних конструкцій при реконструкції ТЕС

Технологія демонтажу конструкцій вручну є одним із найпростіших і найдешевших методів демонтажу окремих аварійних будівельних елементів. Цей спосіб передбачає використання відбійних молотків, електроперфораторів та інших інструментів для розбирання конструкцій, після чого їхні частини переміщуються з небезпечної зони

за допомогою стандартного монтажного обладнання, такого як стрілові крани, автокрани тощо [5].

Попри простоту методу, виконання робіт на головному корпусі діючої теплоелектростанції вимагає вирішення низки складних завдань:

- Забезпечення безпечного доступу до місця проведення демонтажних робіт.

- Організація робіт на висоті до 50 метрів із залученням робітників до небезпечної зони, що створює додаткові ризики.

- Необхідність облаштування підвісних майданчиків, інвентарних лісів, ходових сходів тощо. Ці елементи ускладнюють використання монтажного обладнання, що суттєво збільшує тривалість та вартість робіт.

- Втрата жорсткості конструкцій у процесі розбирання через втрату точок кріплення, передбачених проєктом. При масі конструкцій від 2 до 8 тонн і площі 9–22 м² це створює ризик їхнього обвалення. Для уникнення таких ситуацій необхідно розробляти спеціальне оснащення, яке унеможливить обвалення конструкцій.

Крім того, ручна технологія демонтажу має низьку продуктивність через значний обсяг ручної праці та необхідність виконання висотних робіт, що потребують високої кваліфікації та спеціальної підготовки виконавців.

Досвід застосування цієї технології на практиці підтверджує її складнощі. Наприклад, під час виконання робіт на Київській ТЕС-2 восени 2002 року, під час заміни аварійної стінової панелі, сталося обвалення частково розібраної конструкції. Розслідування інциденту виявило порушення в організації та технології виконання робіт.

Переваги технології демонтажу вручну:

- Можливість заміни окремих аварійних конструкцій без значних змін у проєкті.

- Використання стандартного монтажно-транспортного обладнання.

- Невисокі фінансові витрати на забезпечення матеріально-технічної бази.

Недоліки технології демонтажу вручну:

- Високий ризик обвалення окремих елементів конструкцій.

- Обмеження за масою демонтованих частин (не більше 500 кг), що ускладнює заміну на аналогічні за характеристиками елементи.

- Великі трудові витрати та низька продуктивність праці.

- Висока кошторисна вартість у розрахунку на одиницю демонтованої конструкції.

Враховуючи ці недоліки, ручна технологія демонтажу конструкцій є прийнятною лише у випадках, коли необхідно замінити окремі елементи з мінімальними витратами. Для більш масштабних завдань або в умовах високих вимог до безпеки доцільно застосовувати сучасніші методи демонтажу з використанням автоматизованого обладнання та спеціалізованого оснащення, що забезпечує високу точність і мінімізує ризики.

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою баштового крана. Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою баштового крана із влаштуванням підкранових колій на прилеглій території є ефективним методом для виконання масштабних реконструкцій. Ця технологія передбачає встановлення баштового крана вздовж зовнішніх стін реконструйованої промислової будівлі, що дозволяє виконувати заміну огороджувальних конструкцій у межах зони дії крана [9]. Метод успішно застосовувався при реконструкціях різних промислових споруд, однак у випадку діючих теплоелектростанцій він є технічно складним як у проєктному, так і у виконавчому аспекті.

Особливості реалізації технології.

Установка баштового крана в умовах діючого виробництва можлива лише з боку димососного відділення, використовуючи існуючі підкранові колії мостового або козлового крана. Цей процес вимагає вирішення складних інженерних завдань, таких як:

- Проєктування та влаштування підкранових колій на висоті.

- Монтаж баштового крана на змонтовані підкранові колії, що потребує жорстких вимог до точності робіт. Навіть незначні відхилення у положенні рейок можуть спричинити обвалення крана.

Збірка баштового крана відбувається безпосередньо на місці. На позначку 12 м частини крана подаються стріловим самохідним краном і монтуються поетапно.

Одним із основних недоліків цієї технології є необхідність використання підкранових колій мостового крана, який обслуговує димососи. Ці механізми забезпечують відведення димових газів від котлів, і будь-які затримки через обмеження роботи мостового крана можуть призвести до зупинки котлів і турбін, що створює значні ризики для стабільної роботи ТЕС.

Приклад застосування технології.

Дана технологія була використана під час капітального ремонту головного корпусу Заїнської ТЕС у 1990-х роках. Будівля головного корпусу складалася із залізобетонного каркаса з кроком колон 6 м. В якості огороджувальних конструкцій використовували тришарові стінові панелі розміром 1,8 × 6 м та 1,2 × 6 м. Загальні габарити будівлі в плані становили 528 × 78 м, максимальна висота котельного відділення — 47 м.

Під час ремонту заміні підлягали стінові панелі першої черги будівництва по ряду Г та прилеглі залізобетонні ребристі плити. Усього було замінено близько 400 стінових панелей і 40 плит покриття. Для виконання цих робіт у димососному відділенні встановили баштовий кран КБ-403Б, ввівши додаткові підкранові колії на висоті 12 м. Підготовчі роботи тривали понад два роки.

Переваги технології:

- Можливість одночасної заміни великої кількості конструкцій.

- Використання стандартного монтажного обладнання.

- Висока продуктивність на етапі основних монтажних робіт.

Недоліки технології:

- Обмежена зона застосування (лише крайня вісь і торці будівлі).

- Значна кошторисна вартість підготовчих робіт, зокрема облаштування підкранових колій.

- Незручності та ризики для основного технологічного процесу, пов’язані з обмеженням роботи мостового крана.

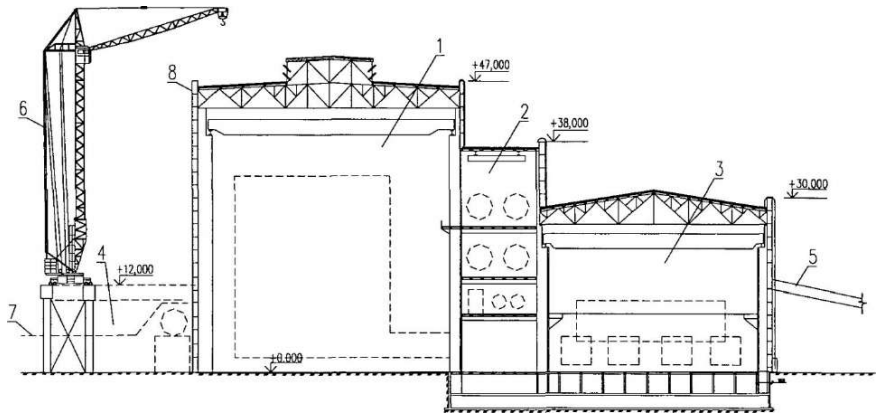


Рисунок 1.13 – Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою баштового крана:
1 котельне відділення; 2 - деаераторне відділення; 3 - турбінне відділення; 4 - димососним відділення; 5 - виводять струмопроводи; 6 - баштовий кран; 7 - димоходи; 8 - замінний ряд стінових панелей

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою баштового крана є ефективною у випадках масштабної реконструкції, де потрібна заміна великої кількості елементів. Однак її застосування у діючих ТЕС пов’язане з великими технічними складнощами, що можуть суттєво вплинути на безпеку та стабільність виробничих процесів. Для мінімізації ризиків необхідно ретельно планувати та контролювати всі етапи робіт, а також передбачати резервні варіанти на випадок непередбачених ситуацій.

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою дахових кранових установок.Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою дахових кранових установок передбачає використання спеціалізованих кранів, які монтуються безпосередньо на покрівлі промислової будівлі. Цей

метод дозволяє виконувати монтаж і демонтаж стінових панелей та плит покриття в межах робочої зони крана, забезпечуючи можливість його переміщення по покрівлі [4].

Метод є універсальним для реконструкції всіх прольотів і відділень головного корпусу ТЕС. Однією з ключових переваг є можливість виконання робіт без зупинки основного технологічного процесу. Найбільший ефект досягається за умови, що об'ємно-планувальні та конструктивні рішення будівлі, а також стан несучих конструкцій дозволяють установку кранів без додаткового посилення.

Для виконання монтажно-демонтажних робіт можуть застосовуватися баштові, стрілові та козлові крани. Для підвищення ефективності процесу рекомендується використовувати два дахові крани: один кран здійснює демонтаж конструкцій, а інший, що пересувається з мінімальним інтервалом, виконує монтаж нових елементів.

Приклад застосування технології.

На кількох підприємствах «Волиньенерго», зокрема на Волинській ТЕС-2, було реалізовано заміну стінових панелей і плит покриття за допомогою дахових кранових установок. Роботи проводилися в межах турбінного та котельного відділень головного корпусу першої і другої черги будівництва (рис. 1.14).

Для монтажу використовували козлові крани з консоллю вантажопідйомністю 8 тонн. Під час підготовчих робіт елементи козлового крана та підкранові конструкції доставлялися за допомогою крана типу «Піонер». Для переміщення кранів по покрівлі змонтували підкранові шляхи, які складалися зі зварних металевих балок, виготовлених із прокатного профілю. Ці балки кріпилися до кроквяних ферм покриття у швах між плитами.

Для компенсації додаткових навантажень кроквяні ферми частково посилили. Заміна конструкцій виконувалася захватками, що охоплювали одну вертикальну панель на всю висоту стіни. Демонтовані елементи переміщувалися козловим краном до тимчасової зони складування на торці будівлі.

Обмеження та ризики.

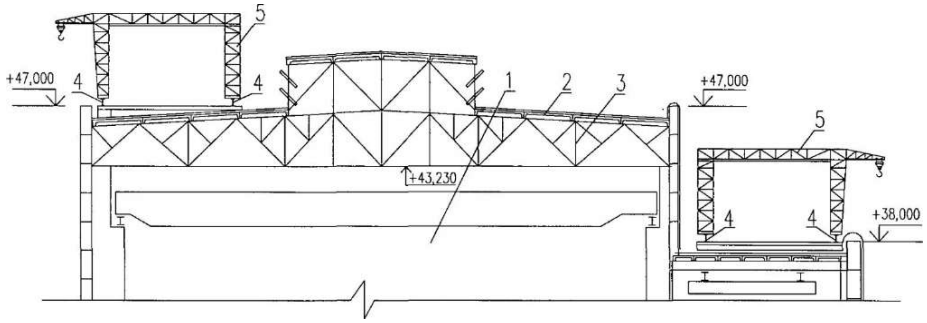


Рисунок 1.14 – Технологія заміни огороджувальних конструкцій
за допомогою козлових кранів:
1- котельне відділення; 2 - покриття головного корпусу; 3 - кроквяна несуча ферма; 4 - підкранові шляхи козловогокрана; 5 - козловий кран

Роботи виконувалися в літній період, оскільки металеві кроквяні ферми не були розраховані на поєднання снігового навантаження і навантаження від крана. У 2004 році на одному з об'єктів сталася аварія: обвалилося два прольоти турбінного відділення, що спричинило пожежу. Причиною аварії стало неправильне кріплення опорної частини підкранових конструкцій козлового крана до несучих елементів кроквяної ферми.

Переваги технології:

- Можливість виконання заміни конструкцій без зупинки основного технологічного процесу.

- Висока продуктивність монтажно-демонтажних робіт завдяки паралельному використанню двох кранів.

- Застосування стандартного монтажного обладнання.

Недоліки технології:

- Необхідність посилення несучих конструкцій у випадках, коли їхній стан не відповідає вимогам навантажень.

- Складність організації робіт у зимовий період через підвищені ризики.

- Значні вимоги до точності кріплення підкранових конструкцій.

- Висока ймовірність аварій за недотримання правил монтажу та кріплення обладнання.

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою дахових кранових установок є ефективною для виконання робіт без перерв у технологічному процесі. Водночас реалізація цього методу потребує ретельного технічного аналізу несучих конструкцій будівлі, точного проєктування і жорсткого контролю на всіх етапах робіт. Нехтування цими вимогами може призвести до серйозних аварій, що загрожують безпеці працівників та стабільності роботи теплоелектростанції.

Переваги:

- Можливість виконання заміни огороджувальних конструкцій у будь-яких осях і прольотах будівлі головного корпусу.

- Використання стандартного монтажного обладнання.

- Висока продуктивність на етапі виконання робіт із заміни конструкцій.

Недоліки:

- Перевищення навантажень на несучий каркас будівлі, які не були передбачені проєктом.

- Значна кошторисна вартість підготовчих робіт.

- Тривалі терміни виконання робіт.

- Необхідність посилення існуючих конструкцій.

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою автомобільного або стрілового крана великої вантажопідйомності. Технологія із використанням автомобільних або стрілових кранів великої вантажопідйомності набула широкого застосування завдяки своїй ефективності. Її переваги пов'язані з можливістю роботи в складних умовах експлуатації, наприклад, у зоні димососного відділення або торців будівлі.

Особливості технології:

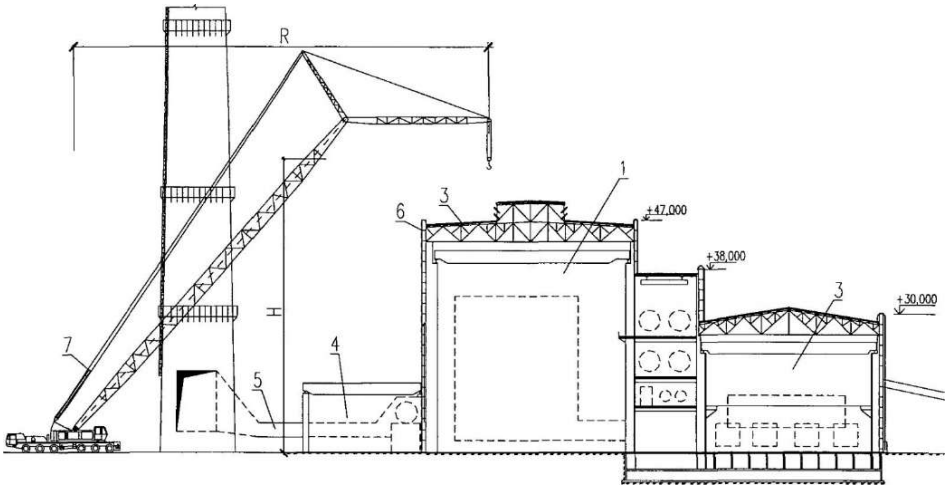


Рисунок 1.15 – Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою автокраном великої вантажопідйомності: 1 котельне відділення;
2 - турбінне відділення; 3 - покриття головного корпусу; 4 - димососним відділення; 5 - димоходи; 6 - заменяемое стеновое огорожу; 7 - стріловий автокран; H - необхідна висота підйому стріли; R - необхідний виліт стріли

Для забезпечення доступу монтажного крана до головного корпусу ТЕС використовуються зони з боку димососного відділення, а також тимчасові або постійні торці будівлі. Через складну геометрію будівлі, висоту котельного відділення 45–55 м і більше, а також необхідність підйому конструкцій масою 3–7 тонн, монтажні крани повинні відповідати специфічним характеристикам:

- Висота підйому гака: 50–70 м.

- Виліт стріли крана: 30–70 м.

- Вантажопідйомність: до 400 тонн (з урахуванням маси такелажного оснащення).

На даний момент, більшість таких кранів виготовляється за кордоном, а в Україні вони доступні в обмеженій кількості. Це обумовлює високу вартість їх оренди та складнощі з організацією робіт.

Приклад реалізації:

На Криворізькій ТЕС-2 заміна аварійних стінових панелей і частини конструкцій котельного відділення виконувалася за допомогою автомобільного крана вантажопідйомністю 400 тонн. У межах проєкту було замінено 34 стінові панелі довжиною 12 м, вагою близько 8 тонн кожна.

Підготовчі роботи:

- Розчищення території та підготовка майданчика для збирання основної стріли крана (довжиною понад 70 м).

- Влаштування тимчасового покриття із залізобетонних дорожніх плит, укладених на щебеневу основу, для забезпечення стійкості крана.

- Збирання основного монтажного крана на місці за допомогою меншого автомобільного крана вантажопідйомністю 25 тонн.

Переваги технології:

- Здатність працювати у складних умовах на значних висотах.

- Висока точність монтажу завдяки сучасному обладнанню.

- Можливість заміни важких і габаритних конструкцій.

Недоліки:

- Висока вартість оренди крана великої вантажопідйомності.

- Необхідність тривалих підготовчих робіт, включно з облаштуванням майданчиків і шляхів.

- Обмежена доступність таких кранів в Україні.

- Низька ефективність у загальному процесі через тривалий час простою крана.

Технологія із застосуванням автомобільних або стрілових кранів великої вантажопідйомності є ефективним методом для виконання заміни огороджувальних конструкцій у складних умовах. Проте її застосування супроводжується високими фінансовими витратами і значною тривалістю підготовчих робіт. Оптимальне використання цього методу можливе у випадках, коли заміна конструкцій потребує значних вантажопідйомних можливостей та роботи на великих висотах.

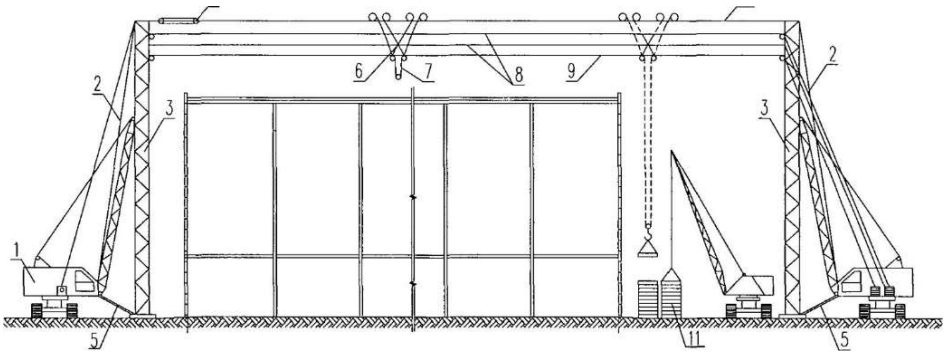


Рисунок 1.16 – Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою стаціонарних і самохідних кабельних кранів: 1 - стріловий кран; 2 - ванти; 3 - А-образні пілони; 4 - поліспасти; 5 - розпірки; 6 - вантажний візок; 7 - підвіска крюка; 8 - тягові канати; 9 - вантажні канати; 10 - несучий канат; 11 -монтіруемие конструкції

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою автокранів великої вантажопідйомності.

Переваги:

- Невелика тривалість виконання монтажних робіт.
- Використання типового монтажного обладнання.
- Висока продуктивність праці на етапі заміни конструкцій.

Недоліки:

- Значна кошторисна вартість підготовчих робіт.
- Висока вартість самого монтажного обладнання.
- Обмеження за кількістю замінюваних конструкцій.

Технологія заміни огороджувальних конструкцій за допомогою кабельних кранів. Кабельні крани (стаціонарні або самохідні) широко використовуються завдяки своїй універсальності для роботи в умовах обмеженого простору. Стаціонарні кабельні крани застосовуються для заміни конструкцій в обмеженій зоні дії, тоді як самохідні крани забезпечують більшу мобільність.

Переваги:

- Невелика тривалість монтажних робіт.

- Використання стандартного монтажного обладнання.

- Висока продуктивність у межах зони дії крана.

Недоліки:

- Низька вантажопідйомність (до 2 тонн).

- Значні витрати на переустановку кранів.

- Обмежена зона дії стаціонарних кранів.

- Необхідність пересування самохідних кранів уздовж крайніх осей будівлі.

Проблеми та обмеження існуючих технологій.

На етапі проєктування ТЕС прогнозований термін експлуатації основного обладнання становив 25–30 років. Передбачалося, що після закінчення цього періоду станції виводитимуться з експлуатації для капітального ремонту із заміною або модернізацією технологічного обладнання та будівельних конструкцій. Проте сучасні умови, зокрема постійний попит на електроенергію, не дозволяють тривалого зупинення теплоелектростанцій для реконструкції.

Відсутність ефективних технологій, які б відповідали умовам діючого виробництва, значно ускладнює роботи із заміни аварійних конструкцій. Основною проблемою є вибір монтажного обладнання, що здатне працювати в умовах високих навантажень, значної висоти (35–55 м) та в обмеженому просторі через наявність технологічних трубопроводів і комунікацій.

Метою магістерської роботи є розробка науково-технічних основ безкранових технологій монтажу і демонтажу конструкцій головних корпусів ТЕС, які дозволять виконувати роботи в умовах діючого виробництва, а також створення практичних рекомендацій щодо застосування цієї технології.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз умов виробництва робіт на діючих теплоелектростанціях, систематизувати існуючі технології монтажу та демонтажу конструкцій головних корпусів, визначити основні параметри монтажно-демонтажних процесів.

2. Розробити нові технологічні рішення, які дозволять здійснювати заміну огороджувальних конструкцій будь-якої частини будівлі в умовах діючого виробництва.

3. Виконати математичне моделювання та розрахунок основних елементів монтажних систем, створити розрахункові схеми для різних умов і параметрів будівельного майданчика.

4. Визначити технологічні можливості запропонованих монтажних систем та їхні області застосування в умовах діючих виробництв.

Розробка нових безкранових технологій монтажу та демонтажу конструкцій головних корпусів ТЕС є актуальним завданням, яке дозволить вирішити проблему заміни аварійних конструкцій без зупинки технологічного процесу. Запропоновані рішення забезпечать безпеку, ефективність і зменшення витрат при проведенні реконструкції теплоелектростанцій.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ТЕХНОЛОГІЇ БЕЗКРАНОВОГО МОНТАЖУ

2.1 Оцінка структури технологічних процесів демонтажу та монтажу аварійних конструкцій у рамках функціонуючих теплоелектростанцій

Процес демонтажу конструкцій у рамках реконструкції або капітального ремонту промислових будівель, які функціонують, є складним і відповідальним завданням, яке наразі мало розроблене. Він включає виконання низки нетипових операцій, серед яких розбирання стиків на великій висоті, очищення закладних деталей і їхнє роз'єднання, обробка горизонтальних і вертикальних швів, відрив конструкцій із подальшим виведенням із проектного положення і переміщення з робочої зони. Крім того, процес демонтажу супроводжується допоміжними операціями, такими як стропування конструкцій, їхнє тимчасове закріплення у роз'єднаному стані, транспортування демонтованих елементів на склади або до тимчасових зон зберігання.

Технологічний підхід до демонтажних робіт вимагає врахування низки завдань: забезпечення можливості виконання робіт без зупинки виробничих процесів, організація доступу працівників до конструкцій, використання доступних монтажних механізмів, проведення демонтажу аварійних або нестабільних конструкцій, дотримання заходів безпеки, оптимізація трудовитрат та використання поширених вантажопідйомних машин і механізмів.

Демонтажний процес за своєю природою подібний до монтажного, оскільки включає аналогічні операції, зокрема переміщення та закріплення конструкцій. Однак демонтаж має і специфічні особливості, які пов’язані з необхідністю доступу до закладних деталей і аварійних елементів, обробки стиків і швів, що

відрізняє його від монтажного процесу. Ці особливості потребують розробки індивідуальних технологічних та організаційних рішень, заснованих на досвіді будівельних і проєктних організацій.

Аналіз сучасних технологій демонтажу та монтажу конструкцій показує, що існує чимало досліджень і типових рішень, які охоплюють роботи з різними конструкціями виробничих будівель. Однак специфіка вибіркового демонтажу і монтажу в умовах діючих підприємств залишається недостатньо висвітленою як у нормативних документах, так і в технічній літературі.

На прикладі заміни стінових панелей у головних корпусах теплоелектростанцій можна побачити істотні відмінності між демонтажем і монтажем. Аналіз показує, що процес демонтажу передбачає низку операцій, які відсутні під час монтажу. Це, зокрема, забезпечення доступу до аварійних конструкцій, роз'єднання закладних деталей, обробка швів і стиків. Такі операції є складними та відповідальними, що вимагає впровадження спеціальних рішень для забезпечення ефективності й безпеки виконання робіт.

Демонтажні роботи, хоча й мають схожість із монтажними, є більш ризикованими і технологічно складними. Їхнє виконання в умовах діючих теплоелектростанцій потребує детального планування, інноваційних рішень і комплексного підходу до організації процесу.

Аналіз процесів демонтажу та монтажу показує, що демонтажні роботи не є повною інверсією монтажного процесу, а мають суттєві відмінності за кількома аспектами. Зокрема, порівняння технологічних процесів демонтажу та монтажу конструкцій у функціонуючих теплоелектростанціях виявило такі особливості:

- Використання стрілових і баштових кранів, які підходять для монтажу, часто неможливе під час демонтажу через обмеження їхнього вильоту та висоти підйому стріли. Для демонтажу конструкцій у центральних частинах будівлі може знадобитися розбирання крайніх прольотів, оскільки у діючому виробництві це єдиний спосіб забезпечити доступ кранів до середини.



Рисунок 2.1 – Склад технологічних процесів монтажу і демонтажу конструкцій

- Під час демонтажу пошкоджених чи зношених елементів стропування через монтажні петлі часто є неможливим або небезпечним. У діючих теплоелектростанціях навіть невеликий відрив або падіння частини конструкції може спричинити серйозну аварійну ситуацію.

- Вибірковий демонтаж створює проблеми з доступом до закладних деталей кріплення, навіть якщо шви конструкції повністю оброблені.

- Виникають додаткові операції, пов’язані з від’єднанням конструкції від кріплень і її виведенням із проектного положення. До найбільш відповідальних операцій належать натягування демонтажної системи, тимчасове утримання конструкції у підвішеному стані та видалення кріплень. Для уникнення перевантаження обладнання та небажаної динаміки система «демонтований елемент – підйомний механізм» має бути налаштована з максимальною точністю відповідно до ваги елементів.

Демонтажні роботи вимагають комплексного підходу до забезпечення безпеки, раціональної організації праці та врахування специфічних умов кожного проєкту. На відміну від монтажних робіт, що виконуються за типовими технологіями під час зведення великих виробничих корпусів, демонтаж є індивідуальним процесом. Він залежить від стану кожної конструкції, її розташування та технічного стану.

Загалом, можна виділити загальні принципи для демонтажу типових конструкцій, таких як зовнішні огороджувальні елементи, конструкції внутрішніх осей, прольотів і торцевих стін. У випадку масштабної модернізації або реконструкції може знадобитися демонтаж великих обсягів будівельних елементів, включаючи конструкції зовнішніх стін, прольотів чи навіть усього корпусу.

Таким чином, процес демонтажу огороджувальних конструкцій у діючих теплоелектростанціях не можна розглядати лише як зворотний монтажу. Необхідно враховувати перелічені особливості та розробляти відповідні організаційно-технологічні рішення.

Потребується впровадження нових технологій, вдосконалення існуючих пристроїв і розробка додаткового обладнання. Серед них – монтажні крани, лебідки, поліспасти, газові різаки, шліфувальні машини, пневматичні та електричні молотки, алмазний інструмент. Крім того, необхідно створювати нові такелажні

пристрої, траверси, демонтажні касети та тимчасові кріплення, які забезпечать цілісність демонтованих елементів та безпеку робіт.

Особливу увагу слід приділити розробці методів і способів, які забезпечать виконання завдань у межах діючих енергопідприємств із максимально можливим охопленням робочої зони. Це особливо актуально через незадовільний стан багатьох огороджувальних конструкцій, що вимагає комплексного підходу до їхнього демонтажу й подальшої заміни.

2.2 Проектування монтажно-демонтажних робіт в умовах діючих ТЕС

Виконання монтажних робіт під час реконструкції будівельних конструкцій на діючих підприємствах є ключовим етапом, що визначає строки початку та завершення інших етапів робіт. Це також безпосередньо впливає на тривалість періоду зупинки виробництва і загальний термін реконструкції. Основними документами, які регламентують ці роботи, є проєкти організації робіт (ПНР) та технологічні карти, розроблені відповідно до чинних стандартів і регламентів.

Аналіз умов виконання монтажних робіт і поставлених завдань при реконструкції головних корпусів теплоелектростанцій дозволяє виділити два основні підходи до організації робіт:

- повна зупинка технологічного процесу з виведенням основного корпусу або виробничої лінії з експлуатації;

- виконання реконструкції без зупинки виробничого процесу.

У першому випадку зупинка технологічного процесу дає змогу застосовувати типові технічні рішення, що полегшує організацію робіт. Проте такий підхід у сучасних економічних умовах призводить до значних фінансових і виробничих втрат, а також потребує значних інвестицій. Зазвичай цей варіант обирають лише

у випадках модернізації основного виробничого обладнання, яке вже вичерпало свій ресурс.

Другий підхід, що передбачає реконструкцію без зупинки виробництва, є складнішим, оскільки потребує індивідуальних і нетипових проєктних рішень для організації робіт. Це стосується не лише технології виконання робіт, але й забезпечення їхньої безпечності та ефективності.

На сьогодні питання, що виникають при проєктуванні монтажно-демонтажних робіт у таких умовах, недостатньо висвітлені у нормативних документах. Чинні регламенти містять лише загальні вимоги до організації монтажних робіт, не враховуючи специфіку об'єктів реконструкції та умов їх проведення.

На етапі проєктування важливо детально опрацювати технічне завдання, яке має враховувати умови реконструкції, порядок виконання робіт, можливість їх поєднання з основним виробничим процесом та передбачувані методи виконання будівельно-монтажних робіт. Узгодження конструктивно-технологічних і організаційно-технологічних рішень є критично важливим і здійснюється на стадії розробки проєктів організації будівництва (ПОС). Це дозволяє забезпечити реальну можливість виконання робіт у встановлені строки.

Склад документів, що входять до проєкту виробництва робіт, залежить від складності об’єкта реконструкції, умов виконання робіт, рівня уніфікації проєктних рішень і необхідності використання допоміжного обладнання. У ПНР повинні бути передбачені передові методи, які сприяють:

- підвищенню продуктивності праці та скороченню термінів робіт;

- забезпеченню надійності та стійкості конструкцій під час виконання робіт;

- створенню безпечних умов праці;

- зменшенню витрат на виконання робіт через використання механізації та раціональних рішень.

Також важливо забезпечити можливість потокового виконання робіт із рівномірним завантаженням працівників і техніки, а також поєднання монтажу

конструкцій із роботами з установлення технологічного обладнання за спільним графіком. Це дозволяє оперативно переходити до наступних етапів реконструкції, мінімізуючи затримки.

Таким чином, проєктування монтажно-демонтажних робіт в умовах діючих теплоелектростанцій потребує індивідуального підходу, що враховує специфіку об’єкта, забезпечує ефективне використання ресурсів та дотримання безпечних умов праці.

При проектуванні монтажно-демонтажних робіт необхідно враховувати особливості конкретного будівельного майданчика, включаючи такі вихідні дані, як рівень внутрішніх і зовнішніх обмежень, специфіку функціонування підприємства, конструктивні характеристики об’єкта реконструкції, наявні ресурси будівельної організації (обладнання, машини, механізми, кваліфікація персоналу), а також досвід виконання подібних робіт і можливість використання стандартних або повторно застосованих проєктних рішень у сфері організації будівельно-монтажних робіт.

Процес планування монтажно-демонтажних робіт у разі заміни огороджувальних конструкцій головних корпусів теплоелектростанцій може бути структурований за такими основними етапами:

- проведення комплексного обстеження будівлі для визначення технічного стану конструкцій відповідно до чинних нормативних документів;

- детальний аналіз стану зовнішніх стінових панелей і плит покриття;

- ідентифікація елементів, що потребують заміни, через їхній аварійний стан, технічну непридатність або невідповідність сучасним вимогам, наприклад теплотехнічним нормам;

- визначення місць розташування закладних деталей і кріплень відповідно до проєктної документації;

- розробка технологічних рішень для безпечного демонтажу зовнішніх панелей чи плит із використанням відповідного обладнання та інструментів;

- визначення можливості монтажу нових конструкцій замість демонтованих із застосуванням запроєктованих технологій;

- проєктування й забезпечення технологічного оснащення для виконання будівельно-монтажних робіт у конкретних умовах;

- створення такелажного обладнання для безпечного демонтажу аварійних конструкцій.

На основі аналізу ключових характеристик об'єкта реконструкції — головного корпусу ТЕС, а також умов проведення робіт на діючих теплоелектростанціях було сформульовано основні вимоги до проєктування монтажно-демонтажних робіт і вибору відповідних технологій:

- забезпечення можливості проведення робіт без зупинки основного виробничого процесу;

- можливість виконання демонтажу або монтажу з будь-якої точки будівлі;

- збереження залишкової цілісності демонтованих конструкцій незалежно від їхнього технічного стану;

- можливість точкового демонтажу аварійних елементів;

- мінімізація впливу робіт на основний технологічний процес енергопідприємства;

- раціональне використання трудових і фінансових ресурсів;

- застосування стандартного обладнання, механізмів і такелажних пристроїв.

Аналіз існуючих методів демонтажу та монтажу огороджувальних конструкцій, проведений у першому розділі, показав, що більшість технологій не відповідає переліченим вимогам. Це підкреслює необхідність розробки нових підходів, які дозволять виконувати монтажно-демонтажні роботи без зупинки технологічного процесу, зберігаючи конструктивну цілісність елементів і дотримуючись усіх норм техніки безпеки.

2.3 Обґрунтування застосування технології безкранового монтажу огороджувальних конструкцій під час реконструкції працюючих теплових електростанцій

На основі аналізу, виконаного у першому розділі, можна зробити висновок, що більшість сучасних ТЕС мають типові генеральні плани, уніфіковані за складом і розташуванням будівель. Це пов'язано з характером технологічних процесів, які виконуються на підприємствах. Кожна теплоелектростанція обладнана димовими трубами для відведення димових газів, які розташовані поблизу головного корпусу. Такі димові труби, висотою від 100 до 250 метрів і більше, є складними інженерними спорудами [8]. Їх несучі елементи зазвичай виконані у вигляді монолітних чи залізобетонних оболонок конічної форми. Для захисту внутрішньої поверхні від впливу агресивних газів труби футеровані матеріалами різних типів і конструкцій. Проєктування таких споруд передбачає розрахунок на максимальні вітрові, сейсмічні та інші навантаження із закладенням значного запасу міцності [5].

Згідно з чинними вимогами Ростехнагляду, димові труби на діючих електростанціях повинні регулярно обстежуватись. Їх експлуатація дозволяється лише за умови задовільного стану основних елементів конструкції [2-3].

У межах цього дослідження було запропоновано технологію безкранового монтажу, яка передбачає виконання монтажно-демонтажних робіт без застосування традиційних монтажних кранів. Натомість використовуються різні комбінації монтажно-транспортного обладнання та оснастки. Основою теоретичних досліджень є використання димових труб ТЕС як опорного елемента для кріплення частин монтажно-такелажного обладнання. Попередній аналіз свідчить, що димові труби можуть витримати додаткове навантаження від монтажних систем, такелажної оснастки та демонтажованих конструкцій.

На основі аналізу генеральних планів і конструктивно-технологічних особливостей будівель головних корпусів ТЕС у рамках поставлених завдань було розроблено монтажно-демонтажний процес для діючих теплоелектростанцій. У першому варіанті компонування монтажна система, названа «Квадро-1» (авторська назва), складається з тросово-блокової вантажопідйомної системи (рис. 2.2).

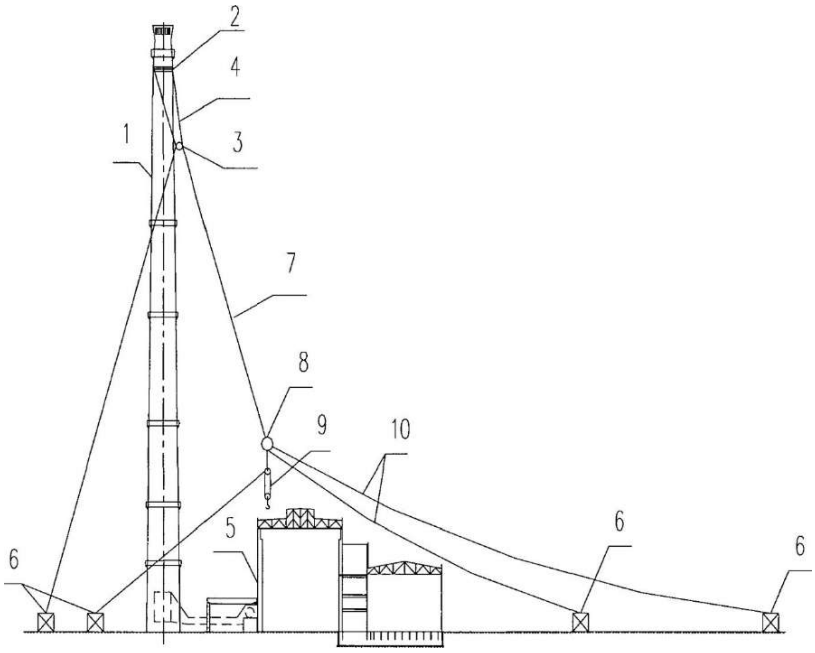


Рисунок 2.2 – Система Квадро-1:
1 - димова труба; 2 обвідний трос;
3 - монтажний блок; 4 - петля; 5 - головний корпус; 6 - електролебідки;
7 - основний трос несучої системи; 8 - кроквяної кільце;
9 - вантажопідйомний поліспаст; 10 - відтяжні троси несучої системи

Система включає три канатні гілки: одна з них кріпиться у верхній частині димової труби за допомогою обвідного троса та виконує функцію основного несучого елемента. Дві інші гілки фіксуються на землі в максимально віддалених точках і використовуються як відтяжки. Розташування місць кріплення відтяжок

залежить від генерального плану ТЕС і умов будівельного майданчика, а також від місця розташування конструкцій, що потребують заміни. Для забезпечення необхідного тягового зусилля канатні гілки можуть бути додатково оснащені поліспастами.

Кінці трьох гілок сходяться на кроквяному кільці, розташованому в зоні роботи монтажної системи (рис. 2.7). Це кільце є центральним вузлом монтажної системи, призначеним для кріплення елементів несучої та вантажопідйомної частини. Переміщення кільця в просторі забезпечується шляхом регулювання довжини гілок несучої системи. Підйом конструкцій виконується через вантажопідйомну систему, що включає монтажний блок або поліспаст, закріплений на кроквяному кільці.

У створеній канатно-блоковій системі забезпечується можливість здійснення монтажу, демонтажу та переміщення конструкцій у межах трикутника, який утворюється точками кріплення гілок несучої системи. Як тяговий механізм пропонується використання монтажних електричних лебідок необхідної вантажопідйомності, які розташовуються на рівні землі за межами робочої зони монтажної системи.

Технологія безкранового монтажу при реконструкції головних корпусів ТЕС включає наступні етапи виконання демонтажних робіт:

- позиціонування кроквяного кільця над конструкцією, що підлягає демонтажу;

- закріплення такелажного обладнання на демонтовуваній конструкції;

- натяжка канатної системи для компенсації маси демонтованої конструкції;

- звільнення закладних деталей і кріплень конструкції;

- підйом конструкції на необхідну висоту за допомогою вантажопідйомної системи.

Операції монтажу будівельних конструкцій за допомогою системи «Квадро-1» аналогічні стандартним операціям, що виконуються на етапі будівництва.

На рисунку 2.3 представлена принципова схема стропування канатів, набір механізмів та такелажного обладнання для комплектації монтажної системи «Квадро-1», розробленої для заміни стінових панелей та плит покриття головного корпусу ТЕС.

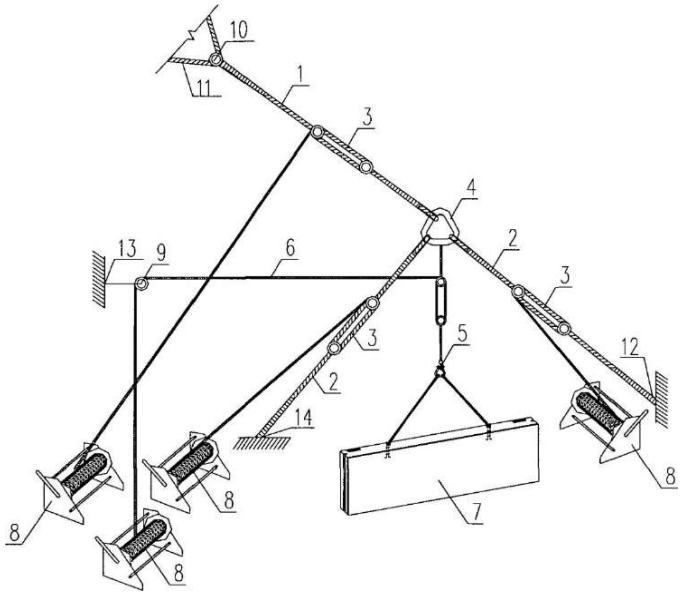


Рисунок 2.3 – Принципова схема монтажної системи «Квадро-1»:
1 - основний канат несучої системи; 2 - відтяжка; 3 - поліспасти гілок несучої системи; 4 - кроквяної кільце; 5 - рузозахватывающее пристрій; 6 - вантажопідйомна система; 7 - піднімається конструкція; 8 - електрична лебідка; 9 - відвідний монтажний блок; 10 - монтажний блок; 11 - обвідний трос; 12 - кріплення кінців відтяжок на рівні землі; 13 - кріплення монтажного блоку на димарі

Несуча система включає основний канат, дві відтяжки, постійні чи тимчасові анкери для кріплення відтяжок на рівні землі, кроквяне кільце, поліспасти та монтажні блоки необхідної вантажопідйомності, три електричні лебідки, а також канати для кріплення основних елементів системи. Вантажопідйомна система складається з вантажного троса, поліспастів (за необхідності), монтажного блока та вантажозахоплювального пристрою.

На рисунку 2.4 продемонстровано макет системи «Квадро-1», виконаний у масштабі 1:200 відповідно до реальних умов генерального плану Одеської ТЕС-3. Макет створений для аналізу запропонованих рішень та виявлення технологічних факторів, які впливають на ефективність системи «Квадро-1».

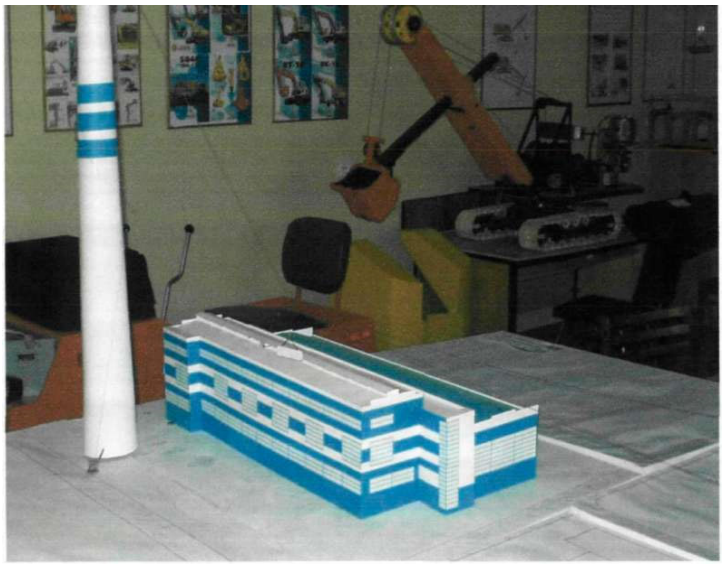


Рисунок 2.4 – Макет монтажної системи Квадро-1 для умов Одеської ТЕЦ-3 в масштабі 1: 200

Для спрощення технології безкранового монтажу під час капітального ремонту чи реконструкції, якщо необхідно замінити лише стінові панелі, розроблено спрощений варіант — систему «Квадро-2». У цій системі несуча та вантажопідйомна системи об’єднані в одну, яка складається з двох канатних гілок (рисунок 2.5).

При виконанні робіт поблизу димової труби одна гілка виконує роль відтяжки, проходить через монтажний блок, закріплений на трубі, та фіксується над вантажозахоплювальним пристроєм. Друга гілка слугує вантажопідйомною, запасованою через блоки на трубі та на металевій стрілі, встановленій на даху будівлі над конструкцією, що підлягає заміні. Вона оснащена вантажозахоплювальним пристроєм для стропування стінових панелей.

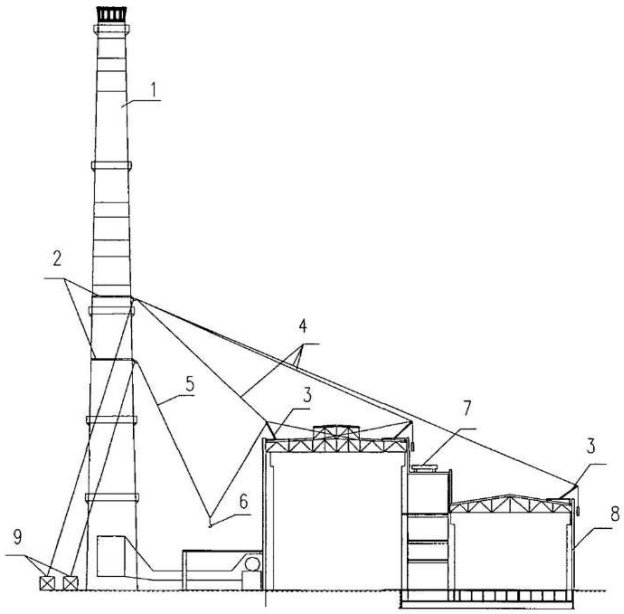


Рисунок 2.5 – Монтажна система "Квадро-2":

1 - димова труба; 2 - обвідний трос; 3 - стріла; 4 - основний трос системи; 5 - відтяжної трос; 6 - вантажозахватний пристрій; 7 - транспортна візок; 8 - головний корпус; 9 - електролебідки; 10 - відтяжка стріли

Металева стріла має ширину опорної частини, що відповідає ширині кроку колон каркаса будівлі, та спирається на несучі металеві ферми. Навантаження передаються на вузли ферм через металеві балки, які слугують основою для стріли. Для забезпечення стійкості та компенсації навантаження стріла расчалюється тросами до кінців металевих балок.

Для підйому та переміщення вантажу обидві гілки монтажної системи обладнані монтажними електричними лебідками, які забезпечують точний контроль над рухом конструкцій. Вивішування, відрив стінової панелі з її проектного положення та подальше переміщення до зони тимчасового складування здійснюється шляхом регулювання довжини гілок монтажної системи за допомогою лебідок.

У разі необхідності заміни стінових панелей на середніх або віддалених від димової труби осях головного корпусу, монтажна система «Квадро-2» трансформується у модифіковану систему. Вона включає одну канатну гілку, яка проходить через монтажний блок, закріплений на димарі, і з'єднується з монтажною стрілою, встановленою безпосередньо над конструкцією, що підлягає заміні. За такої організації роботи монтажна система виконує лише операції монтажу та демонтажу конструкцій із проектного положення.

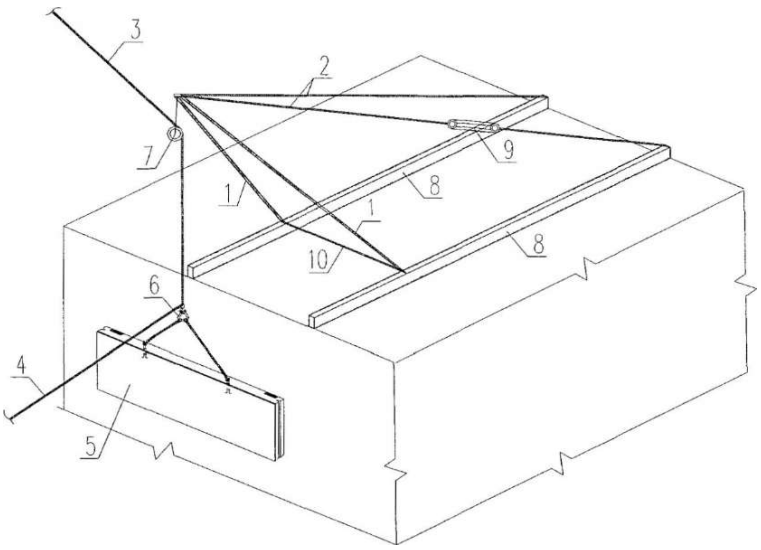


Рисунок 2.6 – Принципова схема монтажної системи «Квадро -2»:
1 - монтажна стріла; 2 - відтяжка стріли; 3 - основний трос; 4 - відтяжної трос; 5 - демонтується стінна панель; 6 - вантажозахватне пристрій; 7 - монтажний блок скомплектований динамометром; 8 - опорні балки стріли; 9 - поліспаст відтягнення; 10 - затяжка стріли

Транспортування демонтованих панелей на склад у середній частині будівлі виконується по тимчасовим шляхам, змонтованим на покрівлі. Переміщення панелей здійснюється за допомогою візків з механічним або електричним приводом, які доставляють вантаж до постійного торця будівлі. Далі панелі опускаються на рівень землі за допомогою монтажного крана. У разі виконання робіт

на віддалених від димової труби осях стінові панелі переміщуються безпосередньо на рівень землі за допомогою монтажної системи.

На рисунку 2.6 представлена принципова схема роботи системи «Квадро-2» для заміни стінових панелей на найближчих до димової труби осях (Д та Г) головного корпусу ТЕС.

Процес виконання робіт за допомогою монтажної системи «Квадро-2» є ідентичним до переліку операцій, що застосовуються для системи «Квадро-1» у технології безкранового монтажу. Це дозволяє зберегти універсальність і ефективність під час реалізації різних монтажних та демонтажних завдань.

2.4 Визначення ключових технологічних параметрів монтажних систем для технології безкранового монтажу під час реконструкції працюючих теплових електростанцій

У межах запропонованої технологічної схеми монтажної системи «Квадро-1» безкранового монтажу формується трьохгілкова канатна система, яка теоретично дозволяє виконувати монтаж, демонтаж і переміщення конструкцій у зоні, окресленій трикутником, утвореним точками кріплення гілок несучої системи на плані.

На рисунку 2.7 показано робочу зону дії монтажної системи, яка формується в стандартних умовах реконструкції — головний корпус теплоелектростанції виступає об’єктом реконструкції, а димова труба використовується як елемент монтажної системи в запропонованій технології.

На рисунку 2.8 наведена робоча зона дії монтажної системи «Квадро-2». Ця система, залежно від варіантів компонування, дозволяє виконувати роботи з монтажу та демонтажу стінових панелей на всіх осях головного корпусу електростанції.

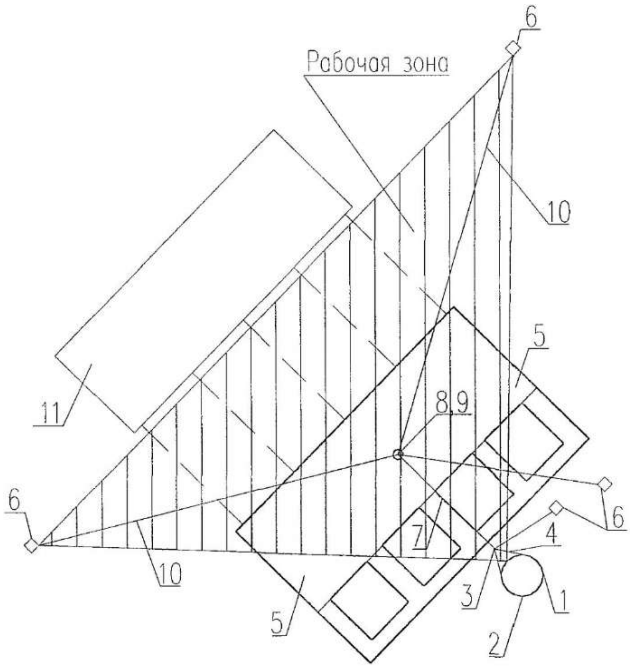


Рисунок 2.7 – Зона дії монтажної системи «Квадро-1»:

1 - димова труба; 2 - обвідний трос; 3 - монтажний блок; 4 - петля; 5 - головний корпус; 6 - електролебідки; 7 - основний трос несучої системи; 8 - кроквяної кільце; 9 - вантажопідйомний поліспаст; 10 - відтяжні троси несучої системи; 11 - відкритий розподільчий пристрій

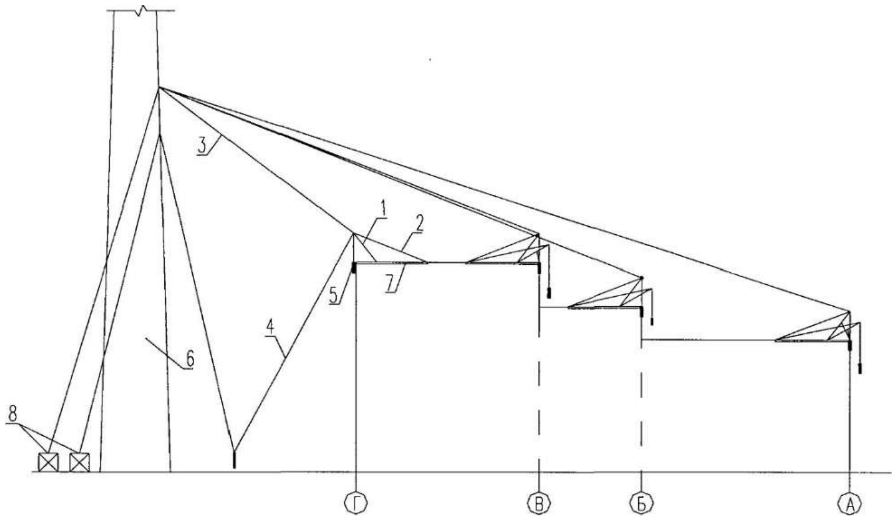


Рисунок 2.8 – Зона дії монтажної системи «Квадро-2»:

1 - монтажна стріла; 2 - відтяжка стріли; 3 - основний трос; 4 - відтяжної трос; 5 - демонтована станова панель; 6 - димова труба; 7 - опорні балки стріли

На основі аналізу принципових і технологічних схем систем «Квадро-1» та «Квадро-2» автором було визначено основний технологічний параметр — зону дії або робочу зону монтажних систем.

Для монтажної системи «Квадро-1» основними факторами, які впливають на її технологічні параметри, є:

- технічний стан димової труби;
- висота димової труби;
- точка кріплення основного троса на димарі;
- розташування точок закріплення відтяжок несучої системи на будівельному майданчику;
- позиція кроквяного кільця під час відриву конструкції;
- маса конструкції, що демонтується.

Для системи «Квадро-2» основними факторами є:

- відстань між димарем та зоною дії монтажної системи;
- стан несучих елементів покриття будівлі;
- крок колон основного каркаса;
- технічний стан і маса конструкції, що демонтується;
- маса конструкції, що монтується;
- технічний стан димової труби.

Враховуючи ці фактори, можна припустити, що зміни їхніх параметрів впливатимуть на розрахункові характеристики основних елементів монтажних систем для конкретних умов. Це дозволить адаптувати монтажні системи «Квадро-1» і «Квадро-2» до реальних умов реконструкції з урахуванням параметрів монтажного обладнання та висоти димової труби.

Під час проектування монтажно-демонтажних робіт із застосуванням технології безкранового монтажу необхідно враховувати технічні характеристики сучасних засобів механізації та монтажного обладнання, доступного для використання.

Автор пропонує визначати основні параметри для комплектації монтажних систем на основі необхідних тягових зусиль у несучому тросі та відтяжках, а також натягу канатів у різних елементах системи.

Для оцінки працездатності запропонованих монтажних систем необхідно виконати математичне моделювання, яке дозволить визначити навантаження на основні елементи систем під час зміни виробничих умов та параметрів монтажно-демонтажного процесу [6].

На основі отриманих результатів моделювання необхідно оцінити міцність і деформаційні характеристики димової труби під впливом монтажних систем у поєднанні з вітровими та сейсмічними навантаженнями.

2.5 Моделювання та аналіз навантажень у складових монтажних систем за різних умов виконання робіт

Для аналізу запропонованих технологічних рішень було виконано математичне моделювання монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2» з визначенням ключових конструктивних і розрахункових характеристик та змінних вихідних параметрів. Математичні дослідження, включаючи обчислення зусиль в елементах систем і визначення можливих робочих положень у межах робочих зон, проводились із використанням методу скінченних елементів (МСЕ) у діалоговому розрахунковому середовищі ПК «ЛІРА». Вибір саме цього програмного комплексу зумовлений його здатністю моделювати системи з урахуванням гнучкості канатів монтажних систем [4].

Основою ПК «ЛІРА» є метод скінченних елементів, який реалізований через форму переміщень. Вибір цієї форми пояснюється простотою алгоритмізації, фізичною інтерпретацією, а також можливістю створення універсальних методів

для формування матриць жорсткості і векторів навантажень для різних типів елементів. Крім того, метод дозволяє враховувати складні геометричні форми конструкцій та довільні граничні умови.

Бібліотека кінцевих елементів (БКЕ) ПК «ЛІРА» включає широкий спектр елементів для моделювання роботи різних типів конструкцій:

- елементи, що моделюють стрижні;
- чотирикутні та трикутні елементи для задач у площині, плити, оболонки;
- об'ємні елементи, такі як тетраедри, паралелепіпеди та тригранні призми.

Також у бібліотеці доступні спеціальні елементи, які дозволяють моделювати пружну податливість між вузлами, зв’язки кінцевої жорсткості та інші специфічні аспекти. Усі елементи бібліотеки мають теоретичне обґрунтування, а їх точність підтверджена оцінками похибки за енергією та переміщеннями.

Для виконання коректного розрахунку навантажень у канатах під час математичного моделювання монтажних систем безкранових технологій застосовуються кінцеві елементи для розв'язання геометрично нелінійних задач. Урахування геометричної нелінійності реалізується через використання елементів, що враховують зміну геометрії конструкції і відповідне переналаштування напружень (зусиль) згідно з новими переміщеннями. Це дозволяє забезпечити точні розрахунки для мембранних і вантових конструкцій [3].

2.5.1 Підхід і результати математичного моделювання монтажної системи «Квадро-1»

У процесі розробки розрахункової схеми монтажної системи «Квадро-1» було досліджено просторове розташування точок несучої системи канатів. Відрізки, що з'єднують точку основи димової труби з опорною точкою несучого ка-

ната на її осі, та точки кріплення відтяжних канатів, утворюють у просторі протилежні ребра тетраедра. Таким чином, точка, що відповідає розташуванню несучого кільця, геометрично розміщується всередині цього тетраедра. Загальний вигляд розрахункової схеми для аналізу навантажень і напружень в елементах несучої системи та димової труби для монтажної системи «Квадро-1» представлено на рис. 2.9.

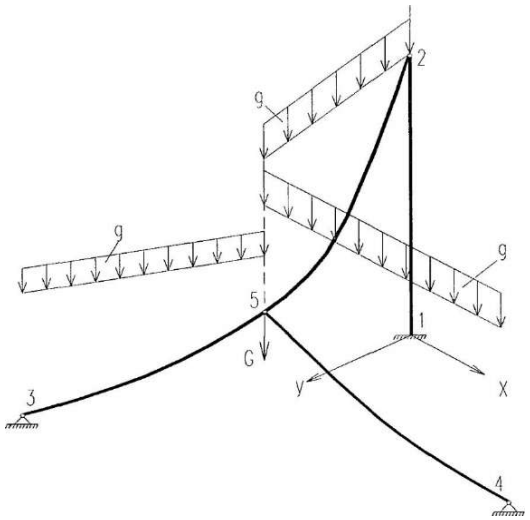


Рисунок 2.9 – Розрахункова схема монтажної системи «Квадро-1»:
1-центр системи координат; 2 - точка підвісу основного троса несучої системи; 3,4 - точки кріплення відтяжок; 5 - точка докладання монтажної навантаження; G - монтажна навантаження;g - розосереджена навантаження гілок несучої системи

Основні припущення, що використовувались для розрахунків:

- вага канатів з поліспастами розподіляється рівномірно вздовж проєкцій їх довжин на горизонтальну площину;

- перетин кожного окремого каната є постійним по всій довжині;

- горизонтальні зміщення точок кріплення канатів не враховуються;

- у точці перетину гілок системи задається навантаження, що відповідає умовній конструкції;

- усі вузли кріплення елементів системи моделюються як шарнірні з двома ступенями свободи.

Для математичного моделювання монтажної системи «Квадро-1» та визначення навантажень на елементи несучої системи тросів була використана теоретична модель комплектації й розміщення оснастки в умовах Київської ТЕС-3 (рис. 2.10).

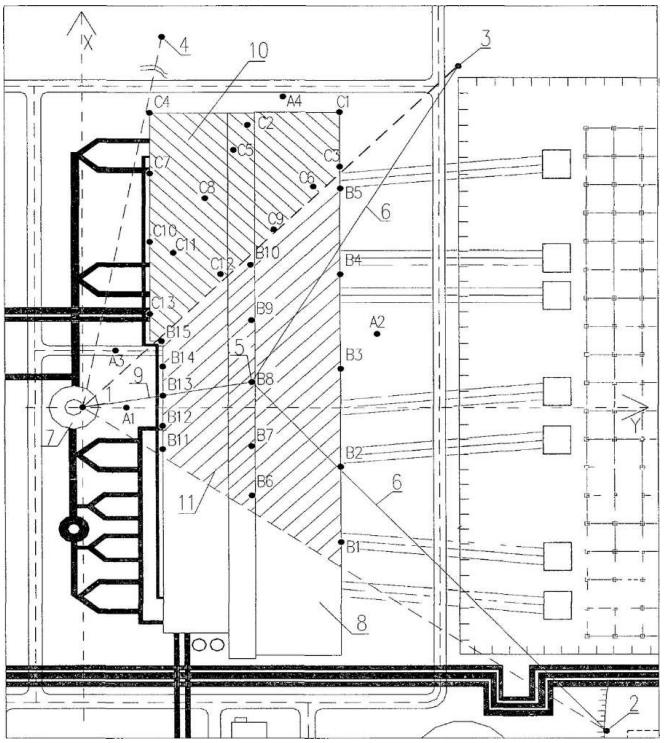


Рисунок 2.10 – Схема розташування точок численних експериментів для розрахунку моделі монтажної системи «Квадро-1»:

1 - точка кріплення основного троса на димарі; 2, 3, 4 - точки кріплення моделі при різних чисельних експериментах; 5 - кроквяної кільце; 6 - відтягнення несучої системи; 7 - димова труба; 8 - головний корпус; 9 - основний трос несучої системи; 10 - робоча зона монтажної системи на другий захватці; 11 - робоча зона монтажної системи на першій захватці; A_1-A_3, B_1-B_{15}, C_1-C_{13} - положення кроквяної кільця для різних чисельних експериментів

Під час моделювання вагу основного каната несучої системи й відтяжок було прийнято еквівалентною вазі металевого троса діаметром 40 мм, рівномірно розподіленій по довжині.

Вага вантажу або необхідна вантажопідйомність монтажної системи для експериментів приймалася на рівні 4 та 8 т, що відповідає масі найбільш важких огороджувальних конструкцій разом із такелажною оснасткою для колон із кроком 6 і 12 метрів каркаса головного корпусу ТЕС.

З урахуванням специфіки генерального плану, головний корпус було розділено на дві захватки, а також визначено точки можливого тимчасового складування, позначені як A1–A4. Можливі позиції несучого кільця робочої зони монтажної системи для першої захватки позначені точками B1–B3, а для другої — C1–C3. Точка кріплення основного троса несучої системи до димової труби позначена як точка 1. Для забезпечення можливих положень несучого кільця на рівні землі вказано розташування двох точок кріплення відтяжних тросів несучої системи: для першої захватки це точки 2 і 3, для другої — точки 3 і 4.

На рис. 2.11 представлено схему для визначення координат розташування кроквяного кільця в робочій зоні. Ця схема створена для формування вихідних даних, необхідних для численних експериментів з розрахунку моделі монтажної системи «Квадро-1».

Для оцінки можливостей виконання демонтажу та монтажу конструкцій крайніх і центральних осей будівлі, положення точок кроквяного кільця розподілено по площі обох захваток головного корпусу. Координати позицій визначаються в метрах залежно від умов експерименту.

Як приклад, на рис. 2.12 показано розрахункову схему монтажної системи для визначення зусиль і напружень в елементах несучої системи та моментів у димовій трубі. Наведено вводимі значення і координати для одного з експериментів — позиції кроквяного кільця в точці B8.

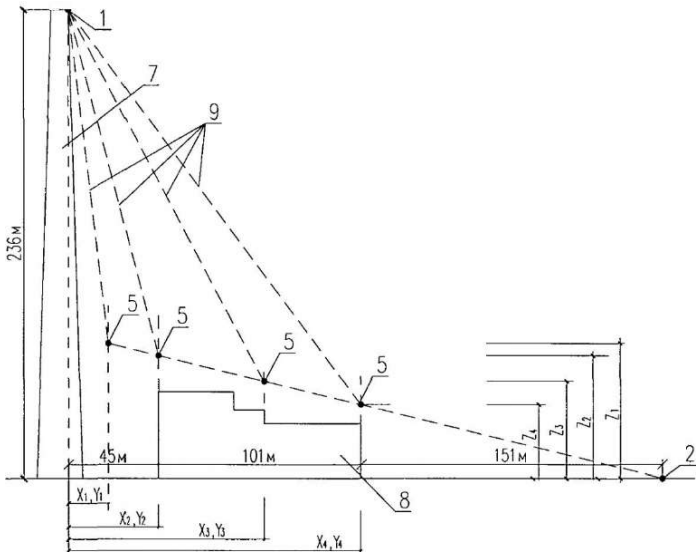


Рисунок 2.11 – Схема визначення координат точок численних експериментів для розрахунку моделі монтажної системи «Квадро-1»:
1 - точка кріплення основного троса на димарі; 2 - точки кріплення моделі при різних чисельних експериментах; 5 - кроквяної кільце; 6 - відтяжка несучої системи; 7 - димова труба; 8 - головний корпус; 9 - положення основного троса несучої системи; 10 – X_1 - X_4; $У_1$ - $У_4$; Z_1-Z_4 - координати положення кроквяної кільця для різних чисельних експериментів

На рис. 2.13–2.15 наведено графічні результати з ПК «Ліра», які демонструють згинальні моменти, зусилля та напруження для зазначеної позиції кроквяного кільця.

У ході моделювання враховувались різні параметри будівельного майданчика та вантажопідйомності монтажної системи. Було визначено зусилля в гілках несучої системи, згинальні моменти, а також сили, що діють на димову трубу.

Результати численних досліджень зведено в табл. 2.1 для вантажу масою 4 т та табл. 2.2 для вантажу масою 8 т.

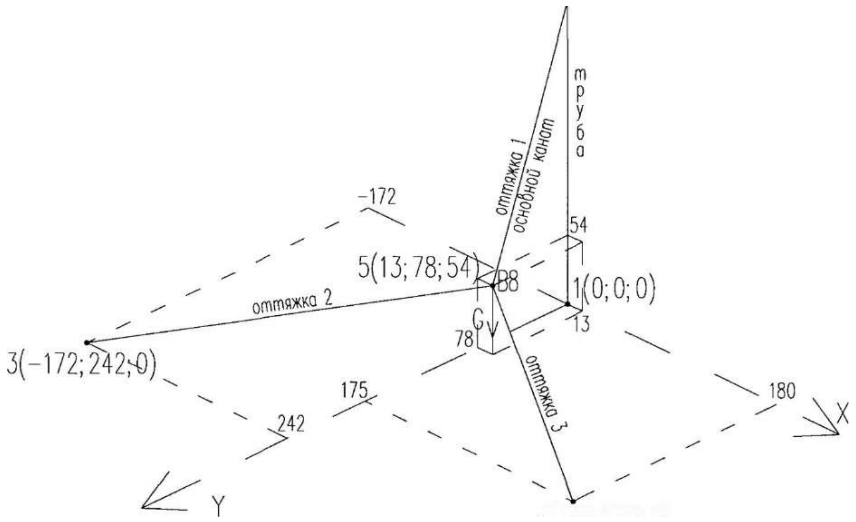


Рисунок 2.12 – Розрахункова модель монтажної системи «Квадро-1» для положення кроквяної кільця в точці B8

На рис. 2.16 показано графіки змін зусиль у гілках несучої системи залежно від положення та маси умовно замінної конструкції в робочій зоні першої захватки.

На рис. 2.17 і 2.18 наведено графіки залежностей зусиль у головному тросі монтажної системи від кута між тросом і димарем, а також від висоти кріплення троса до димаря. Графіки наведені для вантажопідйомності 2 т, 4 т і 8 т, з умовним розташуванням конструкції в точці B8.

На рис. 2.19 відображено графіки змін зусиль і згинальних моментів у димовій трубі для різних положень і мас умовно замінних конструкцій у першій захватці.

На рис. 2.20 наведено графіки змін зусиль у гілках несучої системи для другої захватки.

На рис. 2.21 зображено графіки змін зусиль у димовій трубі під дією монтажної системи для другої захватки при різних умовах.

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця результатів розрахунку монтажної системи «Квадро-1» при масі вантажу, що піднімається на гаку G = 4тонн

Положення кроквяного кільця з координатами навантаження	зусилля в основному канаті № 1 N (т)	зусилля в відтягненні №2 N (Т)	зусилля в відтягненні №3 N (Т)	момент в трубі Мх т*м	момент в трубі Му т*м	зусилля в трубі N в тоннах
Перша захватка						
B1(-71;120;30)	10.88	6.32	1.37	9.06	23.4	-9.3
B2(-31;120;30)	10.75	6.49	3.82	3.49	9.31	-9.44
B3(20;120;30)	11.15	6.20	6.47	-2.14	-5.78	-9.81
B4(70;120;30)	12.44	4.83	8.57	-7.92	-19.80	-10.60
B5(115;120;30)	14.42	1.49	9.79	-15.22	-36.06	-11.67
B6(-46;78;53)	10.05	4.72	1.06	7.65	15.35	-9.11
B7(-20;78;54)	10.03	4.35	2.37	3.18	5.97	-9.22
B8(13;78;54)	10.31	3.66	3.92	-2.58	4.92	-9.48
B9(46;78;55)	10.84	2.51	5.26	-8.45	15.89	-9.80
B10(75;78;55)	11.61	1.01	6.35	-13.53	26.96	-10.19
B11(-22;37;61)	8.82	2.57	0.81	4.30	7.01	-8.52
B12(-10;37;66)	8.90	2.40	1.36	1.82	2.03	-8.62
B13(6;37;71)	9.065	2.06	2.09	-1.9	-4.50	-8.76
B14(22;37;76)	9.32	1.61	2.87	-5.94	-11.06	-8.95
B15(35;36;81)	9.59	1.08	3.52	-9.42	-16.67	-9.12
A1(0;20;81)	8.66	1.73	1.41	-0.34	-2.65	-8.53
A2(39;136;30)	13.32	9.29	10.75	-3.30	-10.61	-11.26
Друга захватка						
C1(156;119;30)	19.4	6.6	12.98	1.17	-31.02	-14.62
C2(149;76;37)	13.28	6.19	5.19	0.42	-26.26	-10.60
C3(127;119;30)	13.41	0.76	8.61	3.79	-21.86	-10.72
C4(155;31;49)	12.79	8.37	0.48	-2.52	-26.99	-10.19
C5(136;70;43)	12.73	5.42	4.70	0.66	-20.89	-10.35
C6(116;107;37)	12.75	0.88	7.78	4.28	-17.24	-10.39
C7(123;31;58)	11.54	6.46	1.16	-2.28	-14.39	-9.66
C8(110;56;55)	11.59	4.31	3.75	1.10	-9.99	-9.81
C9(94;88;49)	11.61	0.73	6.54	5.36	-7.85	-9.85
C10(87;31;67)	10.35	4.27	1.83	-0.72	0.46	-9.16
C11(82;46;66)	10.58	3.09	3.32	2.10	1.86	-9.35
C12(71;64;64)	10.62	1.02	5.07	5.63	3.84	-9.4
C13(49;31;80)	9.52	2.05	2.65	2.56	17.23	-8.86
A3(30;15;92)	8.93	2.05	1.66	0.76	27.77	-8.59
A4(164;93;27)	14.18	7.11	6.98	0.47	-33.36	-11.06

Таблиця 2.2 – Зведена таблиця результатів розрахунку монтажної системи «Квадро-1» при масі вантажу, що піднімається на гаку G = 8тонн

Положення кроквяного кільця з координатами навантаження	зусилля в основному канаті № 1 N (т)	зусилля в відтягненні №2 N (Т)	зусилля в відтягненні №3 N (Т)	момент в трубі Мх т*м	момент в трубі Му т*м	зусилля в трубі N в тоннах
Перша захватка						
B1(-71;120;30)	16.57	9.79	1.93	9.05	23.44	-14.04
B2(-31;120;30)	16.41	10.07	5.85	3.49	9.31	-14.28
B3(20;120;30)	17.04	9.59	10.05	-2.14	-5.78	-14.88
B4(70;120;30)	18.93	7.32	13.21	-7.92	-19.80	-15.98
B5(115;120;30)	21.84	2.04	14.97	-15.22	-36.06	-17.44
B6(-46;78;53)	15.26	7.16	1.35	7.65	15.35	-13.78
B7(-20;78;54)	15.23	6.55	3.44	3.18	5.97	-13.98
B8(13;78;54)	15.66	5.43	5.89	-2.58	-4.92	-14.39
B9(46;78;55)	16.61	3.62	8.13	-8.50	-15.84	-14.95
B10(75;78;55)	17.73	1.21	9.76	-13.53	-26.97	-15.45
B11(-22;37;61)	13.22	3.65	0.91	4.30	7.01	-12.8
B12(-10;37;66)	13.35	3.35	1.76	1.82	2.03	-12.96
B13(6;37;71)	13.60	2.77	2.91	-1.89	-4.504	-13.19
B14(22;37;76)	14.01	2.00	4.11	-5.94	-11.06	-13.48
B15(35;36;81)	14.44	1.14	5.13	-9.42	-16.67	-13.74
A1(0;20;81)	12.95	2.16	1.76	-0.34	2.65	-12.76
A2(39;136;30)	20.42	14.45	16.76	-3.3	-10.61	-17.14
Друга захватка						
C1(156;119;30)	30.71	10.51	20.71	1.17	-31.02	-22.79
C2(149;76;37)	21.11	9.95	8.33	0.42	-26.26	-16.59
C3(127;119;30)	21.22	1.09	13.88	3.79	-21.86	-16.68
C4(155;31;49)	20.32	13.48	0.61	-2.52	-26.99	-15.94
C5(136;70;43)	20.20	8.66	7.51	0.66	-20.89	-16.2
C6(116;107;37)	20.20	1.26	12.57	4.28	-17.24	-16.23
C7(123;31;58)	18.18	10.27	1.65	-2.28	-14.39	-15.07
C8(110;56;55)	18.25	6.75	5.89	1.10	-9.99	-15.31
C9(94;88;49)	18.32	0.92	10.52	5.36	-7.85	-15.37
C10(87;31;67)	16.07	6.55	2.69	-0.72	0.46	-14.18
C11(82;46;66)	16.46	4.64	5.16	2.10	1.86	-14.49
C12(71;64;64)	16.55	1.27	8.00	5.63	3.84	-14.59
C13(49;31;80)	14.55	2.78	3.92	2.57	17.23	-13.57
A3(30;15;92)	13.47	2.66	2.21	0.76	27.77	-12.99
A4(164;93;27)	22.48	11.45	11.23	0.47	-33.36	-17.22

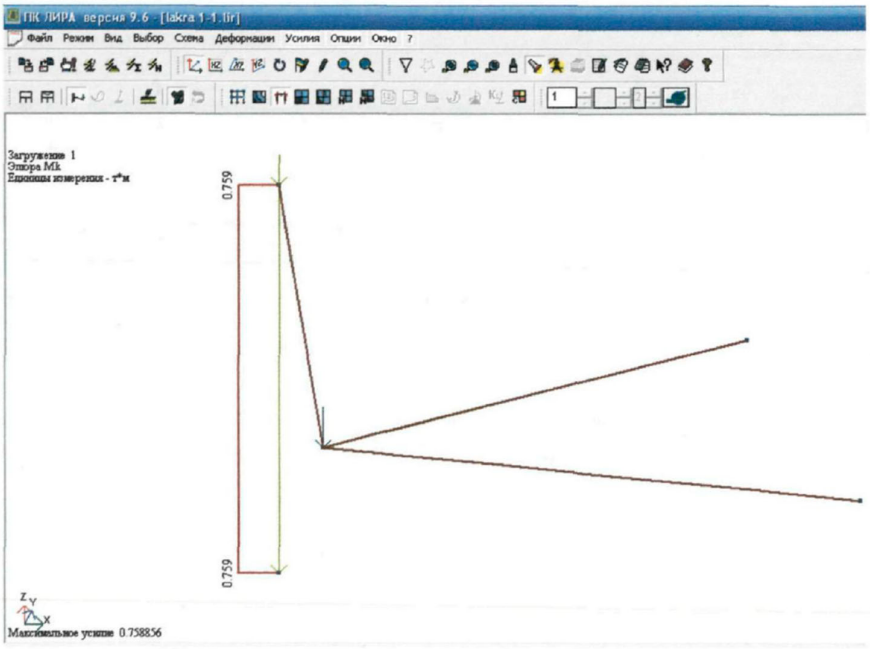


Рисунок 2.13 – Епюра згинальних моментів Mz основних елементів несучої системи для завантажених в точці B8

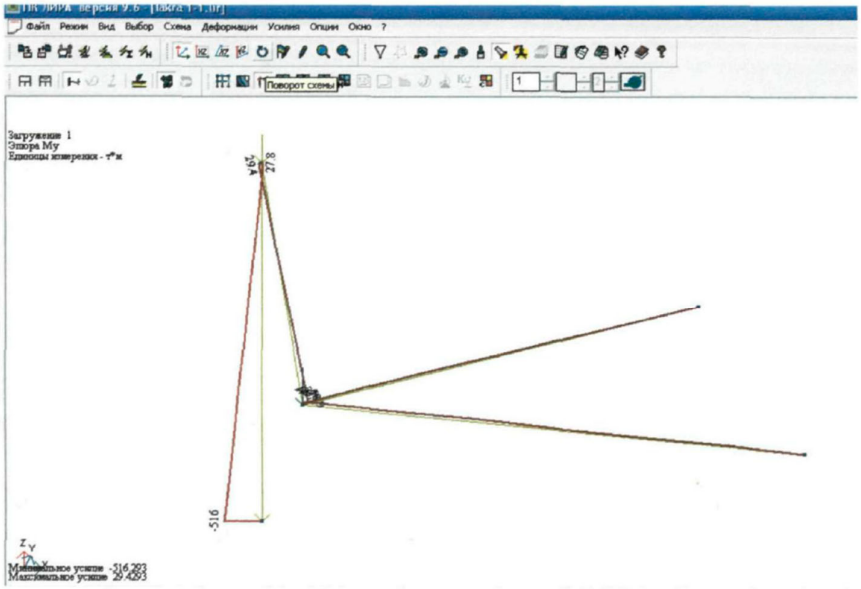


Рисунок 2.14 – Епюра згинальних моментів My основних елементів несучої системи для завантажених в точці B8

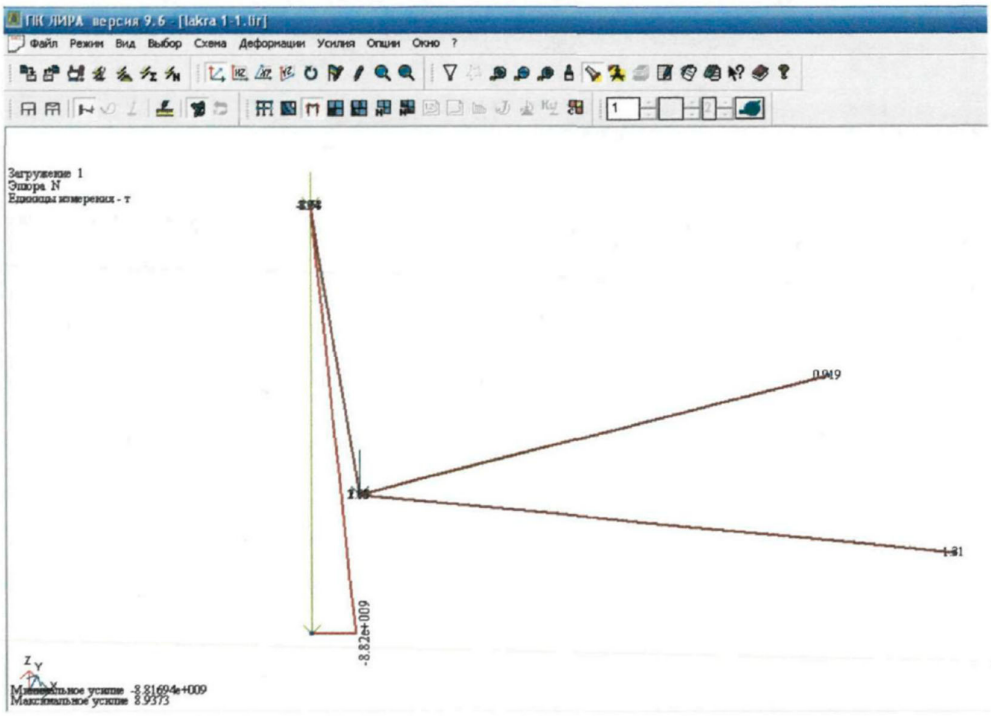


Рисунок 2.15 – Епюра зусиль N основних елементів несучої системи для завантажених в точці В8

На рис. 2.22 представлено поєднану діаграму змін напруги в канатах монтажної системи залежно від положення кроквяного кільця та технологічних параметрів заміни конструкцій у першій захватці.

З аналізу діаграми видно, що зростання навантажень у гілках несучої системи прямо пропорційне збільшенню маси умовно замінної конструкції при незмінному положенні кроквяного кільця в робочій зоні.На рис. 2.11 представлено схему для визначення координат розташування кроквяного кільця в робочій зоні. Ця схема створена для формування вихідних даних, необхідних для численних експериментів з розрахунку моделі монтажної системи «Квадро-1».

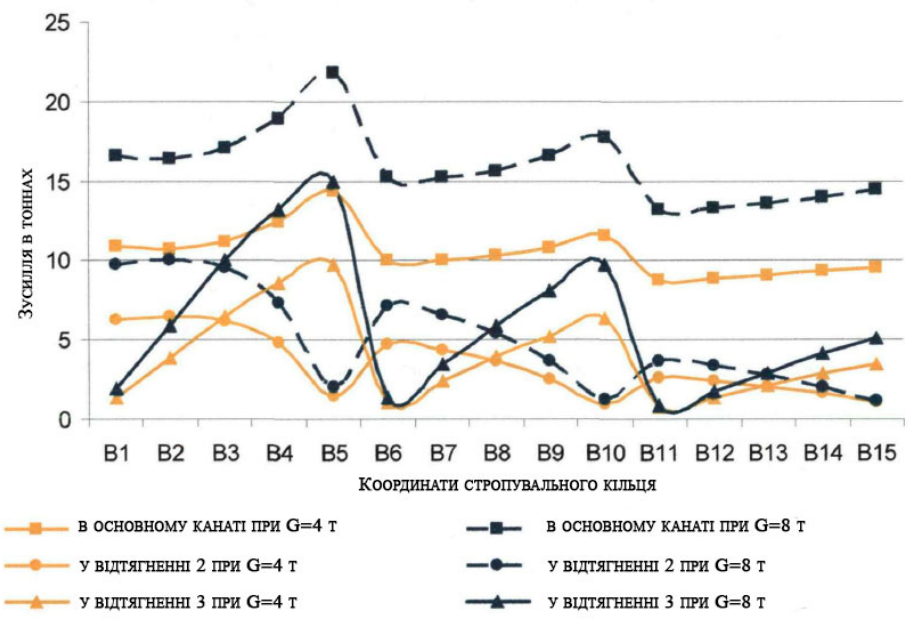


Рисунок 2.16 – Графіки зміни зусиль в гілках несучої системи для різних технологічних параметрів

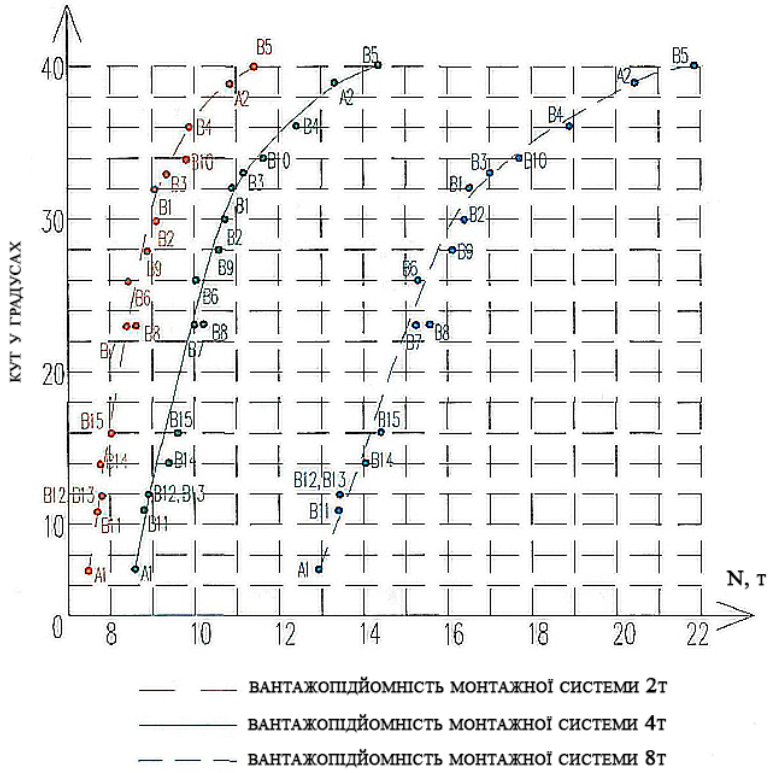


Рисунок 2.17 – Графік залежності зусиль в основному тросі монтажної системи від кута між основним тросом і димарем

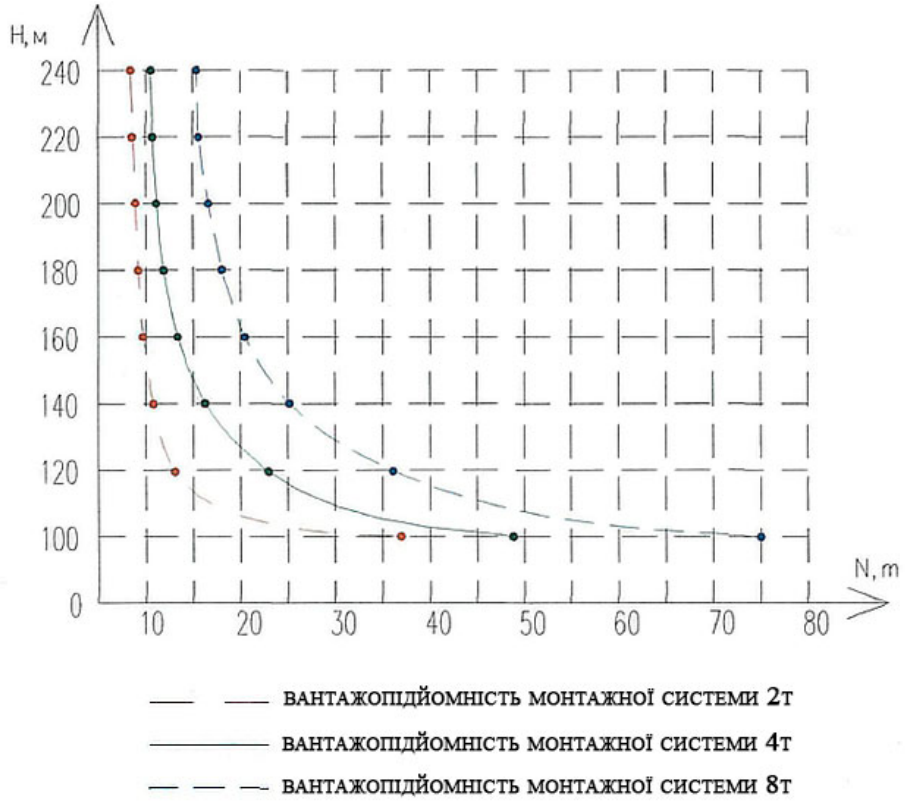


Рисунок 2.18 – Графік залежності зусиль в основному тросі монтажної системи від висоти кріплення несучої системи на димарі для положення конструкції в точці В8

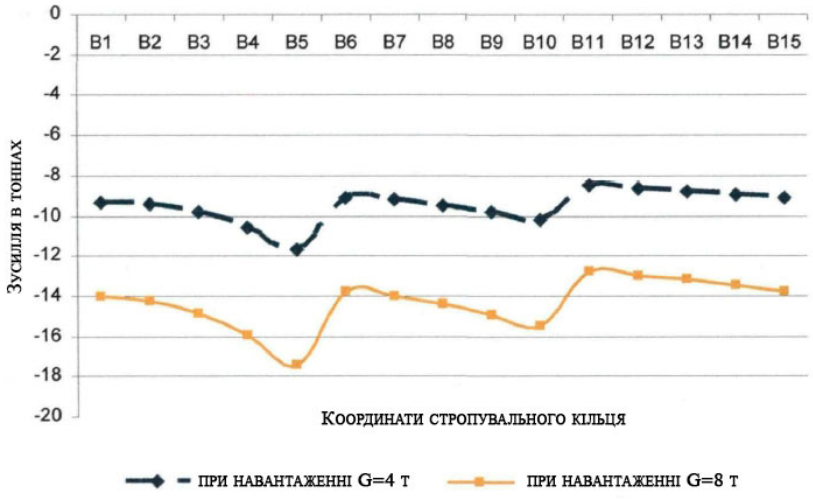


Рисунок 2.19 – Графіки зміни зусиль в трубі для різних технологічних параметрів

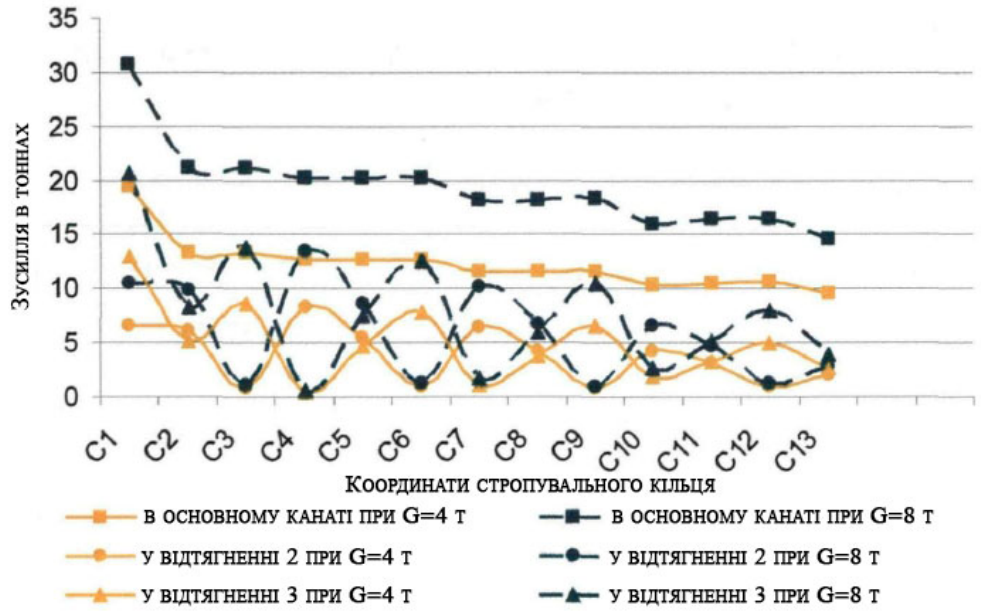


Рисунок 2.20 – Графіки зміни зусиль в гілках несучої системи для різних технологічних параметрів

Для оцінки можливостей виконання демонтажу та монтажу конструкцій крайніх і центральних осей будівлі, положення точок кроквяного кільця розподілено по площі обох захваток головного корпусу. Координати позицій визначаються в метрах залежно від умов експерименту.

Як приклад, на рис. 2.12 показано розрахункову схему монтажної системи для визначення зусиль і напружень в елементах несучої системи та моментів у димовій трубі. Наведено вводимі значення і координати для одного з експериментів — позиції кроквяного кільця в точці В8.

На рис. 2.13–2.15 наведено графічні результати з ПК «Ліра», які демонструють згинальні моменти, зусилля та напруження для зазначеної позиції кроквяного кільця.

У ході моделювання враховувались різні параметри будівельного майданчика та вантажопідйомності монтажної системи. Було визначено зусилля в гілках несучої системи, згинальні моменти, а також сили, що діють на димову трубу.

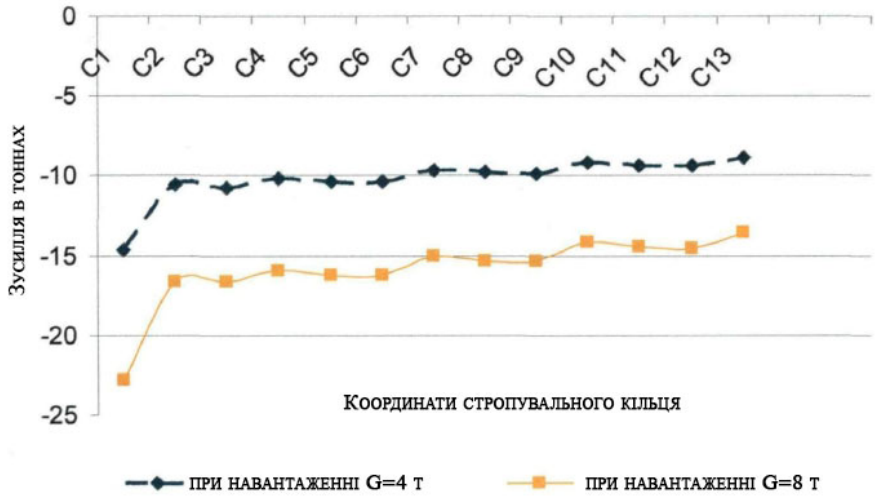


Рисунок 2.21 – Графіки зміни зусиль в трубі для різних технологічних параметрів

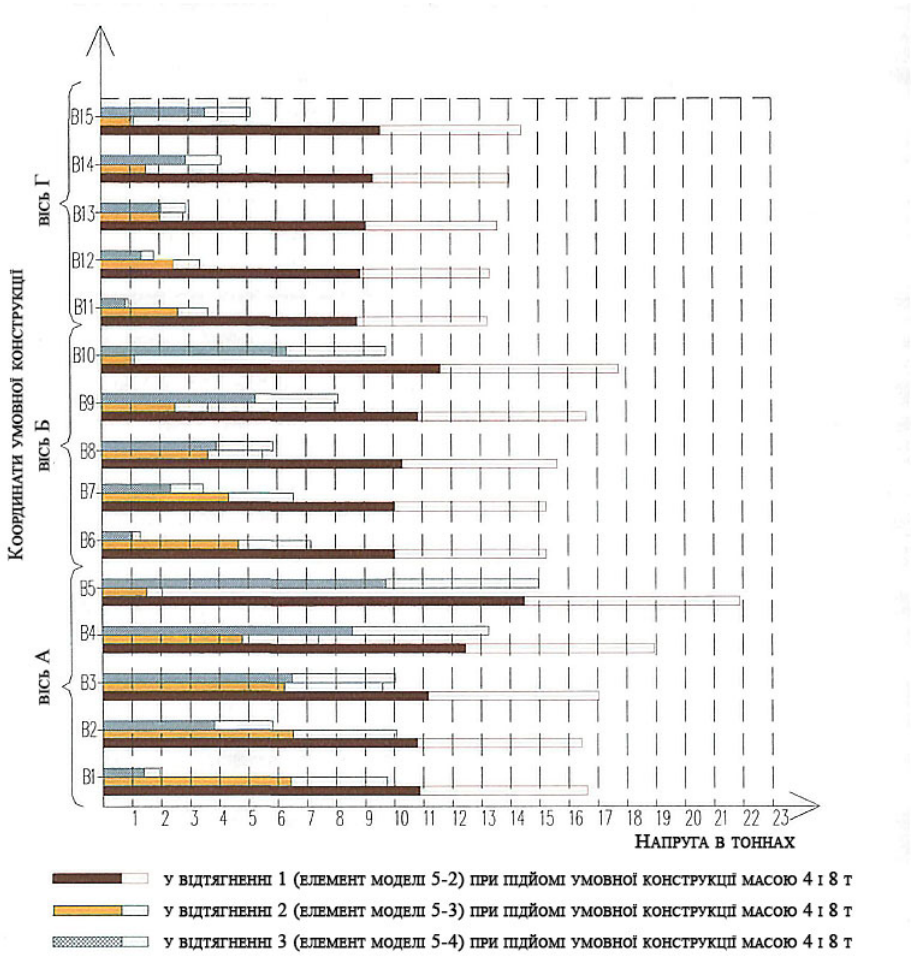


Рисунок 2.22 – Діаграма напруг В канатах монтажної системи "Квадро 1" для різних вихідних даних математичного моделювання

Результати численних досліджень зведено в табл. 2.1 для вантажу масою 4 т та табл. 2.2 для вантажу масою 8 т.

На рис. 2.16 показано графіки змін зусиль у гілках несучої системи залежно від положення та маси умовно замінної конструкції в робочій зоні першої захватки.

На рис. 2.17 і 2.18 наведено графіки залежностей зусиль у головному тросі монтажної системи від кута між тросом і димарем, а також від висоти кріплення троса до димаря. Графіки наведені для вантажопідйомності 2 т, 4 т і 8 т, з умовним розташуванням конструкції в точці В8.

На рис. 2.19 відображено графіки змін зусиль і згинальних моментів у димовій трубі для різних положень і мас умовно замінних конструкцій у першій захватці.

На рис. 2.20 наведено графіки змін зусиль у гілках несучої системи для другої захватки.

На рис. 2.21 зображено графіки змін зусиль у димовій трубі під дією монтажної системи для другої захватки при різних умовах.

На рис. 2.22 представлено поєднану діаграму змін напруги в канатах монтажної системи залежно від положення кроквяного кільця та технологічних параметрів заміни конструкцій у першій захватці.

З аналізу діаграми видно, що зростання навантажень у гілках несучої системи прямо пропорційне збільшенню маси умовно замінної конструкції при незмінному положенні кроквяного кільця в робочій зоні.

2.5.2 Підхід і результати математичного моделювання монтажної системи «Квадро-2»

Основні припущення, прийняті для моделювання та розрахунку, відповідають технічним вимогам розрахункового комплексу ПК «Ліра» [4]. Для уникнення моментів, які можуть виникати у монтажній стрілі під дією троса монтажної системи, основний трос було спрямовано через монтажний блок, підвішений на гнучкому зв'язку. Загальна схема моделювання монтажної системи «Квадро-2» прийнята згідно з рис. 2.8. У процесі чисельного моделювання змінювались такі параметри: стан стріли та точки кріплення відтяжок, маса та положення умовної конструкції, що підлягає демонтажу, її переміщення та розташування тимчасового складування.

На основі попереднього аналізу принципової схеми монтажної системи «Квадро-2» визначено, що навантаження, які виникають у тросах, безпосередньо залежать від ваги умовної будівельної конструкції. Вони розподіляються між основним тросом і відтяжкою для близьких осей головного корпусу пропорційно до кута між ними. Для далеких осей (А, В, С) навантаження в тросі дорівнюватиме масі вантажу, що піднімається. Максимальне навантаження на димову трубу (без урахування коефіцієнта тертя в елементах монтажної системи) виникатиме на ближніх осях (Г і Д) і не перевищуватиме подвійного значення монтажного навантаження від маси конструкції та такелажного оснащення.

Для математичного моделювання системи «Квадро-2» і визначення навантажень на елементи несучої системи було використано теоретичну модель комплектації та розташування елементів оснастки відповідно до умов теплоелектростанції. Вага вантажу, що піднімається, приймалась 4 і 8 тонн, що відповідає сумарній масі найбільш важкої конструкції та такелажного оснащення для кроку колон каркаса головного корпусу ТЕС в 6 і 12 метрів.

У кожному чисельному експерименті аналізувалися навантаження, що виникають під час двох основних операцій: у момент відриву конструкції — «вивішування» та на етапі опускання конструкції — «переміщення». Спирання розподільчих балок монтажної стріли здійснювалось у вузлах кроквяних ферм покриття будівлі.

На рис. 2.23 і 2.24 наведено розрахункові схеми, що відповідають положенням монтажної системи «Квадро-2» під час виконання робіт на різних осях головного корпусу.

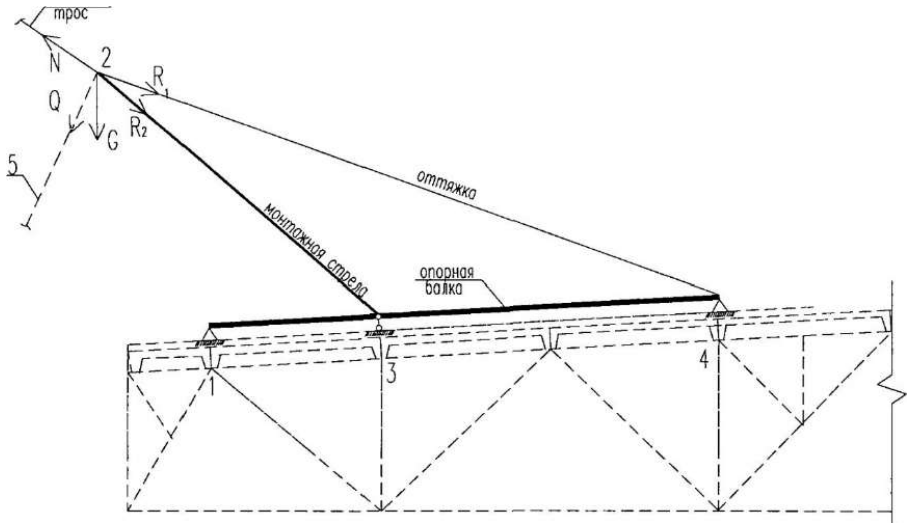


Рисунок 2.23 – Розрахункова модель монтажної системи «Квадро-2» для найближчих осей (осі Г і Д) до головного корпусу:

1, 3, 4 - опорні точки розподільчої балки; 1 - точка кріплення відтяжки на розподільній балці; 2 - оголовок монтажної стріли, точка докладання монтажної навантаження; 3 точка кріплення монтажної стріли на розподільних балках; 5 - положення основного троса для розрахунку навантажень технологічної операції «переміщення»; R_1- зусилля виникають з глибини; R_2 - зусилля виникають в монтажній стрілі; G - вага умовної конструкції

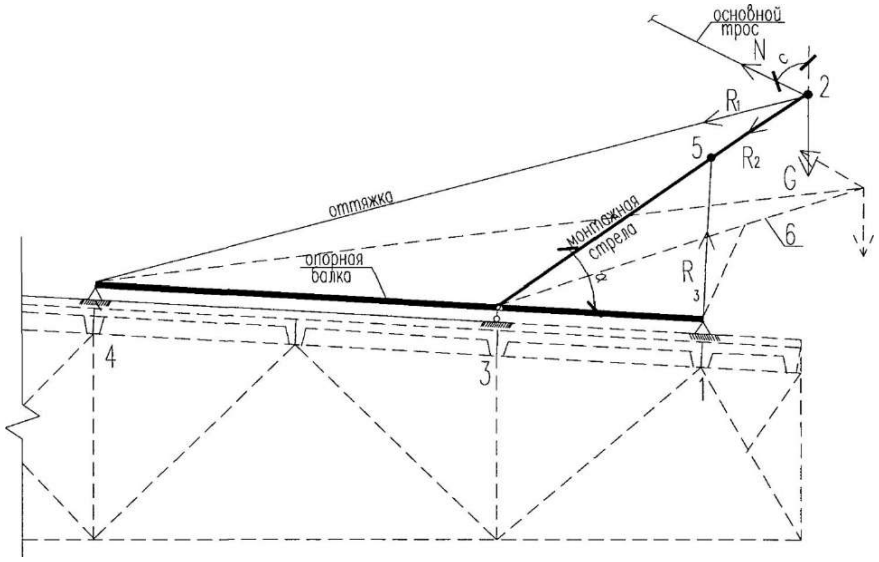


Рисунок 2.24 – Розрахункова модель монтажної системи «Квадро-2» для далеких від димової труби осей (осі А, Б і С):

1, 3, 4 - опорні точки розподільчої балки; 1 точка кріплення відтяжки 2 на розподільній балці; 2 - оголовок монтажної стріли, точка докладання монтажної навантаження від умовної конструкції; 3 - точка кріплення монтажної стріли на розподільних балках; 5 - точка кріплення відтяжки 1 на монтажній стрілі; 6 - положення монтажної стріли для розрахунку навантажень технологічної операції «переміщення»; R_1 - зусилля, що виникають з відтяжки 1; R_2 - зусилля, що виникають в монтажній стрілі; R_3- зусилля, що виникають в відтягненні 2; G - місце додаток умовної конструкції

На рис. 2.25 і 2.26 подано графічні файли ПК «Ліра», які ілюструють результати розрахунків зусиль і напружень для положення монтажної стріли на осі У в момент «відриву» конструкції масою 8 тонн.

У таблиці 2.3 наведено результати розрахунків для монтажної системи «Квадро-2» при вантажопідйомності 8 тонн для всіх осей головного корпусу ТЕС.

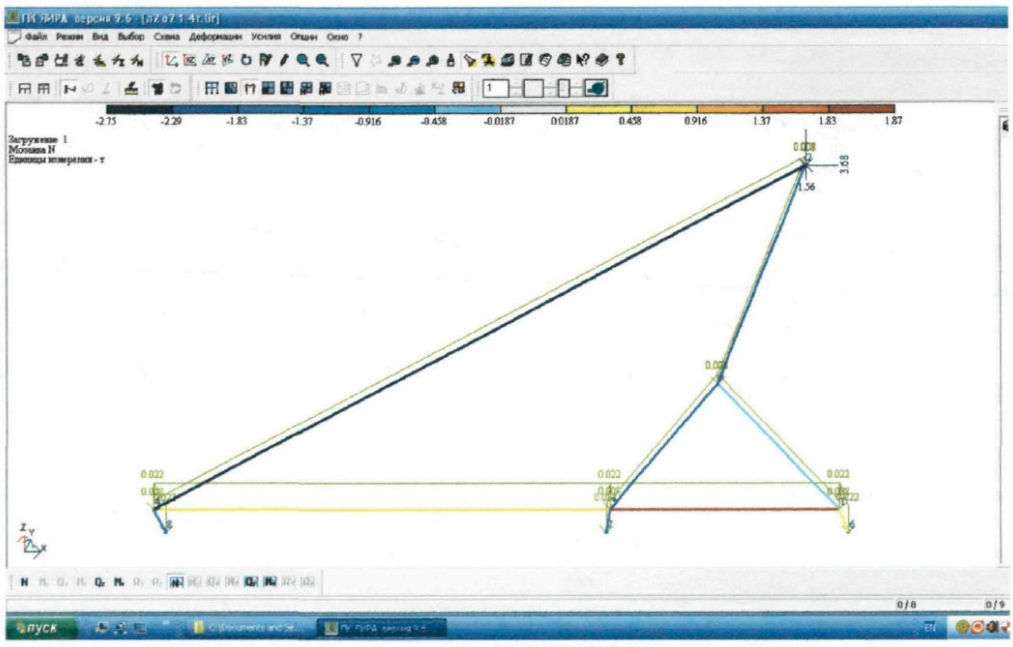


Рисунок 2.25 – Епюри поздовжніх сил основних елементів монтажної системи «Квадро-2» при заміні стіновий панелі на осі В, «Вивішування»

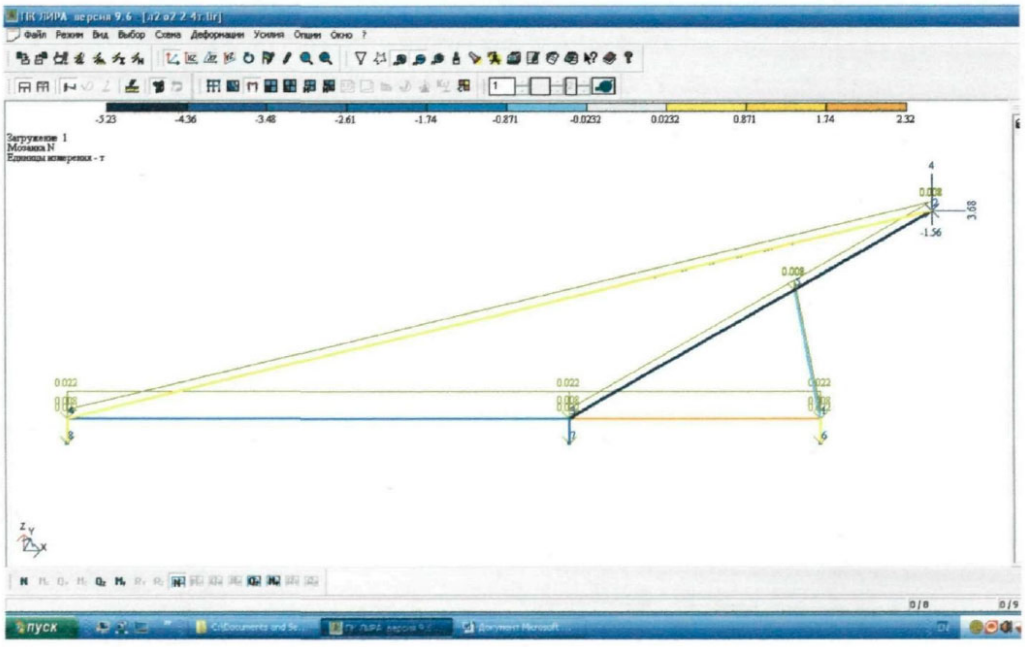


Рисунок 2.26 – Епюри поздовжніх сил основних елементів монтажної системи «Квадро-2» при заміні стіновий панелі на осі В, «Вивішування»

Таблиця 2.3 – Зведена таблиця результатів розрахунку монтажної системи "Квадро-2" при масі вантажу, що піднімається на гаку 8 т

*	Реакція на опорах (Т)			зусилля в відтягненні № 1 R1 (т)	зусилля в монтажній стрілі R2		зусилля в відтягненні № 2 R3 (т)	зусилля в балці N1 і N2 (т)		момент в стрілі Му т*м	
Елемент розрахункової схеми											
	т.1	т.3	т.4	4-2	2-5	5-3	1-5	4-3	3-1	2-5	5-3
Монтаж на осі Г, монтажне навантаження 8т											
1	-0.33	-3.54	2.39	6.15	-4.62		**	-5.61	-2.83	0.05	
2	-0.19	-1.07	2.04	4.99	-1.2		**	-3.44	-0.8	0.05	
Монтаж на осі В монтажне навантаження 8т											
1	2.55	-5.24	-0.02	**	-4.26	-4.74	3.67	-1.22	-0.02	-3.7	-1.74
2	0.28	-2.36	-0.14	0.8	-5.23	-5.18	-0.17	-4.47	0.03	0.86	0.05
Монтаж на осі Б, монтажне навантаження 8т											
1	2.47	-4.9	-0.2	-0.37	-4.1	-5.66	3.2	-3.65	-1.33	2.83	-5.66
2	-0.26	-2.18	-0.2	0.52	-4.83	-4.8	-0.16	-4.14	0.03	-0,08	0,04
Монтаж на осі А, монтажне навантаження 8т											
1	-2.31	-5.04	-0.24	-0.32	-4.44	-5.9	3.0	-3.78	-1.25	-2.66	-1.27
2	-0.3	-2.73	-0.01	1.38	-5.98	-5.94	-0.19	-5.13	0.04	-0.1	0.06

* - номер чисельного експерименту при розрахунку оснащення монтажної системи при виробничій операції 1 «вивішування» або «відрив»; 2 «переміщення»;

2.6 Аналіз розрахунків димових труб на вплив навантажень, спричинених монтажними системами «Квадро-1» і «Квадро-2»

Можливість використання технології безкранового монтажу під час реконструкції та капітального ремонту головних корпусів діючих ТЕС, а також розроблених монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2», залежить від технічного стану, параметрів і придатності димових труб, які використовуються як опорні конструкції.

Для оцінки навантажень і згинальних моментів, що виникають у димовій трубі під впливом монтажної системи, були проведені розрахунки для монолітної залізобетонної димової труби висотою 240 метрів, розташованої на території Київської ТЕС-3. Ця труба була обрана як основна для моделювання монтажної системи «Квадро-1». Основні розміри димової труби, використані для розрахунків, наведено на рис. 2.27.

Головною метою розрахунків було визначення напружено-деформованого стану димової труби під дією різних зовнішніх факторів, включаючи навантаження, що виникають від монтажних операцій. Розрахунки виконувалися спільно з науково-дослідною лабораторією автоматизованих систем проєктування та розрахунків на витривалість просторових конструкцій (Казанський державний архітектурно-будівельний університет). Аналіз проводився за методом скінченних елементів з використанням розрахункового комплексу «Сутінок» [5].

Розглядалися три основні випадки навантаження:

1. Повне вітрове навантаження.

2. Сейсмічні впливи.

3. Неповне вітрове навантаження у поєднанні з додатковим навантаженням від монтажної системи.

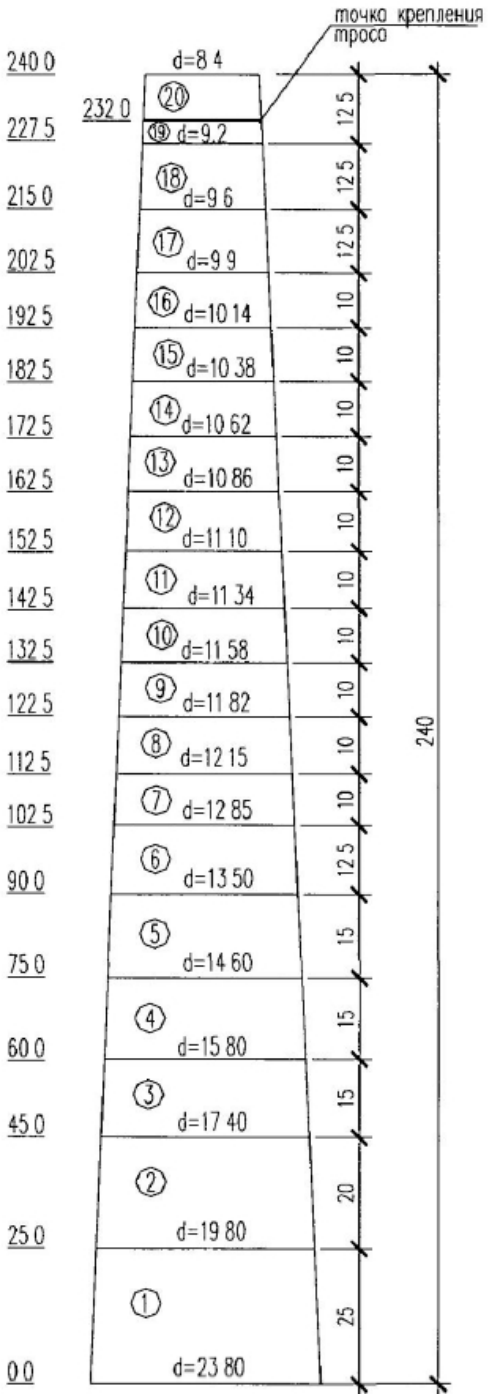


Рисунок 2.27 – Базові розміри для розрахунку димової труби

Основні характеристики димової труби представлено в табл. 2.4. Труба виготовлена з важкого бетону марки М300 із поздовжньою та поперечною арматурою класу АІІІ.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики димової труби

№ ланки	Відмітка низу ланки (м)	Радіус R, м	Заліз-тонна оболонка		Притискна кладка		Розмір зазору м	Футерування	
			товщина Т,м	Об`єм V, м3	товщина Т,м	Об`єм V, м3		товщина Т,м	Об`єм V, м3
1	0.0	11.9	0.8	1204.1	0.25	302.2	0.0	0.00	155.8
2	25.0	9.9	0.64	691.7	0.12	130.	0.4	0.23	233.3
3	45.0	8.7	0.58	417.0	0.12	86.9	0.365	0.23	155.2
4	60.0	7.9	0.52	340.4	0.12	79.7	0.34	0.23	141.9
5	75.0	7.3	0.46	276.7	0.12	73.9	0.31	0.23	131.4
6	90.0	6.75	0.4	185.7	0.12	57.7	0.285	0.23	102.6
7	102.5	6.37	0.34	118.4	0.12	44.1	0.265	0.23	78.3
8	112.5	6.07	0.28	99.4	0.12	42.6	0.245	0.23	75.8
9	122.5	5.91	0.26	89.9	0.12	41.7	0.23	0.23	74.3
10	132.5	5.79	0.24	81.1	0.12	41.0	0.21	0.23	73.1
11	142.5	5.67	0.22	72.6	0.12	40.2	0.195	0.23	71.9
12	152.5	5.55	0.2	67.7	0.12	39.4	0.175	0.23	70.6
13	162.5	5.43	0.2	66.2	0.12	38.5	0.16	0.23	69.1
14	172.5	5.31	0.2	64.7	0.12	37.6	0.14	0.23	67.6
15	182.5	5.19	0.2	63.2	0.12	36.7	0.125	0.23	66.1
16	192.5	5.07	0.2	61.7	0.12	35.8	0.105	0.23	64.7
17	202.5	4.95	0.2	75.0	0.12	43.4	0.09	0.23	78.8
18	215.0	4.8	0.2	72.2	0.12	41.8	0.065	0.23	76.0
19	227.5	4.6	0.2	25.1	0.12	14.5	0.05	0.23	26.4
20	232.0	4.49	0.2	42.6	0.12	24.6	0.04	0.23	44.7

Умови будівельного майданчика:

- Вітровий район: II.

- Тип місцевості: А.

- Категорія ґрунту: II.

- Сейсмічність: 7 балів.

Основні характеристики конструкції:

- Обсяг залізобетонної оболонки: 4116.72 м³ (без урахування консолей).

- Обсяг притискної кладки: 1253.59 м³.

- Обсяг футерування: 1859.05 м³ (без урахування технологічних отворів).

Розрахункова схема димової труби прийнята у вигляді консольного стрижня-оболонки, защемленого в основі. Конструкція умовно розділена на ділянки, у межах яких перетин вважається постійним.

2.6.1 Розрахунок димової труби на вітрові навантаження

Згідно [8] вітрове навантаження визначається як сума статичної та динамічної складових. Нормативне значення статичної складової, яка додається до середини & -го ділянки труби, визначається за формулою:

$$W_{sk}^{n} = w_0 k(z_k) c_{xk} h_k d_k , \qquad (2.1)$$

де w_0 - нормативне значення вітрового тиску; $k(z_k)$ - коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті; c_{xk} - коефіцієнт лобового опору; h_k та d_k - висота і середній діаметр, розглянутого ділянки.

Розрахункове значення статичного складової вітрового навантаження:

$$W_{sk} = W_{sk}^{n} \gamma_f , \tag{2.2}$$

де γ_f - коефіцієнт надійності за навантаженням.

Під час обчислення динамічної складової вітрового навантаження розрахункову схему димової труби приймають у вигляді консольної балки, затисненої біля основи, з масами, зосередженими у середині ділянок, на які умовно поділена труба [12]. Динамічна складова вітрового навантаження враховує інерційні сили, що діють на маси системи. Ці сили визначаються для кожної форми вимушених коливань. Інерційна сила, прикладена до \(k\)-ї ділянки при коливаннях за \(i\)-ю формою, розраховується за формулою:

$$W_{d,ik}^{n} = M_k \xi_i \eta_{ik} \nu , \tag{2.3}$$

де M_k - маса до одного місця, зосереджена в його середині,

$$M_k = P_k / g , \tag{2.4}$$

де P_k - вага к-го ділянки труби; g - прискорення вільного падіння;

ξ_i - коефіцієнт динамічності; η_{ik} - наведене прискорення маси до-г ділянки;

ν - коефіцієнт просторової кореляції пульсацій тиску вітру.

Кількість, які враховуються при розрахунку форм вимушених коливань m оцінюється виходячи з умови:

$$f_{m-1} < f_m < f_{m+i} , \tag{2.5}$$

де f_m - частота останньої форми, яка обліковується в розрахунку; f_i - гранична частота власних коливань, при якій допускається не враховувати інерційні сили.

Розрахункове значення динамічної складової:

$$W_{d,ik} = W^n_{d,ik}\gamma_f \,, \tag{2.6}$$

2.6.2 Розрахунок димової труби на дію сейсмічних сил

Розрахункова схема димової труби приймається у вигляді консольної балки, затисненої біля основи, з масами, зосередженими у центрах ділянок, на які умовно поділена труба [3]. Сейсмічні сили представляються у вигляді інерційних сил, прикладених до цих мас. У процесі розрахунку враховують щонайменше три форми власних коливань труби [15].

Розрахункова сейсмічна сила, прикладена до маси з номером \(k\), що відповідає першому тону власних коливань труби, визначається за формулою:

$$S_{ik} = k_1 k_2 S_{oik} \,, \tag{2.7}$$

де k_1 - коефіцієнт, що враховує допустимі пошкодження споруди; k_2 - коефіцієнт, що враховує особливості конструктивного рішення будівель і споруд;

$$S_{oik} = Q_k A \beta_i k_\psi \eta_{ik} \,, \tag{2.8}$$

де Q_k - вага к-го ділянки труби; A - коефіцієнт сейсмічності; β_i - коефіцієнт динамічності по і -му тону власних коливань труби; η_{ik} - коефіцієнт, що залежить від форми власних коливань труби.

2.6.3 Оцінка впливу вітрових навантажень і додаткового навантаження від канатної системи на димову трубу

У період використання монтажних систем, які є частиною технології безкранових монтажів, на димову трубу діють навантаження від вітрового тиску та елементів монтажної системи. За підсумками математичного моделювання, максимальні тягові зусилля, що передаються на димову трубу від монтажної системи «Квадро-1», досягають 30,71 тонни (відповідне положення замінної конструкції в точці \(C_1\)), а від монтажної системи «Квадро-2» — 16,5 тонни (при заміні стінової панелі вздовж осі \(A\)).

Для оцінки напружено-деформованого стану димової труби приймаються найбільші значення тягових навантажень. Горизонтальні та вертикальні компоненти вектора навантаження, що виникають від монтажної системи «Квадро-1» у точці \(C_1\), становлять 21,9 та 22,4 тонни відповідно. Розрахункові значення з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням (\(\gamma_f = 1{,}4\)) досягають 30,7 та 31,4 тонни відповідно.

Нормативне значення вітрового тиску обчислюється за формулою:

$$w_0 = 0{,}61 v_0^2, \qquad (2.9)$$

де v_0 - швидкість вітру на рівні 10 метрів над поверхнею землі. При v_0 = 5 м / с, що відповідає граничній швидкості вітру при проведенні монтажних робіт, м> 0

w_0 становить 0,015 т / м2 [6].

У результаті виконаних розрахунків отримано дані про переміщення і згинальні моменти в контрольних точках димової труби під впливом різних розглянутих факторів. Зіставлення отриманих результатів переміщень із нормованими

Таблиця 2.5 – Максимальні моменти

Відмітка перетину димаря, м	повне вітрове навантаження		сейсмічне навантаження		монтажне навантаження	вітрове та монтажне навантаження	
	$M_{изг.}$, т*м	Δ, м	$M_{изг.}$, т*м	Δ, м	$M_{изг.}$, т*м	$M_{изг.}$, т*м	Δ, м
0,00	35164,4	0,0000	30869,0	0,0000	7368,1	27486,8	0,0000
25,00	28779,7	0,0030	25700,3	0,0025	6600,2	23250,3	0,0023
60,00	20758,2	0,0192	19235,8	0,0168	5526	17774,2	0,0153
90,00	14867,5	0,0516	14483,5	0,0462	4605,7	13566,3	0,0424
112,50	10294,5	0,1043	11234,2	0,0843	3914,3	10714,9	0,0780
132,50	8129,0	0,1454	8557,5	0,1343	3300,2	8393,9	0,1255
152,50	5593,8	0,2142	6175,2	0,2009	2686,3	6270,8	0,1898
172,50	3472,0	0,2973	4138,6	0,2828	2072,2	4348,8	0,2703
192,50	2394,8	0,3905	2392,8	0,3761	1458,3	2642,1	0,3640
215,00	1218,4	0,5024	798,4	0,4893	767,5	1015,5	0,4802
240,00	0,0	0,6295	0,0	0,6186	0,0	0,0	0,6150

гранично допустимими величинами деформацій дозволило визначити відповідність конструкції нормативним вимогам. Також, на основі значень зусиль і згинальних моментів, проведено оцінку несучої здатності перерізів труби. У таблиці 2.5 представлені максимальні діючі моменти для різних умов навантаження.

На основі виконаних розрахунків визначено критичний момент, при досягненні якого можливе руйнування димової труби. З діаграми, наведеної на рис. 2.28, видно, що згинальні моменти, викликані дією монтажної системи «Квадро-1», а також сумарні моменти від монтажної системи і вітрового навантаження при швидкості вітру 5 м/с, є значно меншими за моменти, що виникають при повному вітровому навантаженні. Вони також у кілька разів менші за максимальний момент руйнування для всіх розрахункових перерізів димової труби [9].

Результати перевірочних розрахунків підтверджують, що димова труба має значний запас несучої здатності. Це дозволяє використовувати її як опорну

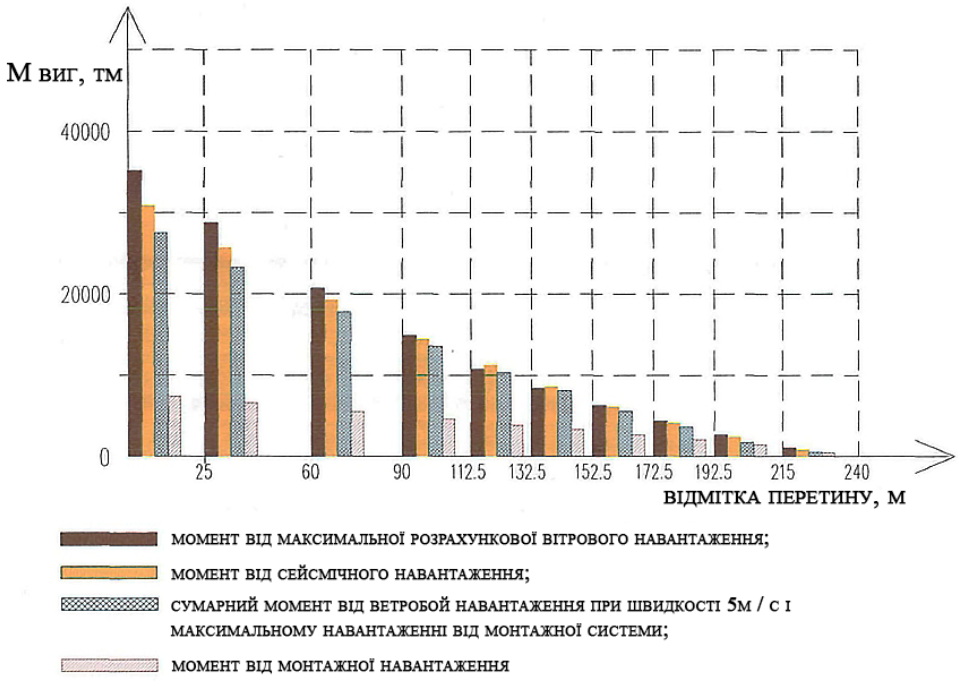


Рисунок 2.28 - Зведена діаграма моментів для різних умов розрахунку димової труби

конструкцію для монтажних систем за умови задовільного технічного стану залізобетонного стовбура.

Проведені перевірочні розрахунки стовбура димової труби на дію вітрових, сейсмічних та монтажних навантажень за допомогою методу скінченних елементів у лінійній постановці показали, що значення зусиль у перерізах та переміщень не перевищують допустимих величин, враховуючи фактичні характеристики матеріалів.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БЕЗКРАНОВОГО МОНТАЖУ

3.1 Оцінка технологічних можливостей та сфер раціонального використання монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2»

Для визначення технологічних можливостей монтажних систем і оцінки доцільності використання технології безкранових монтажу при реконструкції та капітальному ремонті головних корпусів діючих теплоелектростанцій застосовано методику визначення робочих зон і вантажопідйомності монтажних систем, викладену в другому розділі. Аналіз показав, що можливості монтажних систем залежать від низки технологічних параметрів об'єкта реконструкції та умов будівельного майданчика: маси вантажу, що піднімається, висоти кріплення монтажної системи на димарі, місця встановлення відтяжок, а також від розташування огороджувальних конструкцій у плані головного корпусу.

Ефективність застосування технології безкранових монтажу, зокрема використання розроблених систем «Квадро-1» і «Квадро-2», значною мірою залежить від технічного стану та параметрів димових труб, які використовуються як опорні конструкції. Важливим фактором є також можливість розміщення монтажно-транспортного обладнання і вантажопідйомних механізмів на будівельному майданчику в умовах обмеженого простору генерального плану діючого підприємства.

З урахуванням критичності прийняття рішень щодо використання димових труб як опорних елементів, на основі результатів моделювання технологічного оснащення монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2», перевірочних розрахунків та експериментальних досліджень визначено оптимальні технологічні параметри для застосування технології безкранових монтажу.

Основними критеріями оцінки ефективності технології стали зусилля, що виникають в основному тросі несучої системи, і пов'язані з ними згинальні моменти в димовій трубі. Ці показники залежать від маси вантажу, висоти кріплення троса на димарі та положення огороджувальної конструкції в плані будівлі.

Для монтажної системи «Квадро-1» висота кріплення троса є ключовим параметром, що визначає навантаження на елементи системи. Найефективнішим є кріплення троса у верхній точці димаря, оскільки це зменшує кут між тросом і трубою, що, в свою чергу, мінімізує згинальні моменти та збільшує вантажопідйомність системи.

Для системи «Квадро-2» висота кріплення троса має менший вплив на зусилля в елементах системи. Найбільш раціональним є кріплення троса на обслуговуючій платформі димової труби, розташованій вище рівня головного корпусу, що знижує обсяги верхолазних робіт і трудовитрати.

Аналіз генеральних планів теплоелектростанцій та конструктивних особливостей головних корпусів ТЕС дозволяє зробити висновок, що позиції огороджувальних конструкцій стосовно точки кріплення основного кільця на димарі є типовими для більшості ТЕС, і в основному визначаються розташуванням конструкції в плані будівлі.

Для визначення доцільних зон застосування монтажних систем та безпечних умов використання димових труб як опорних конструкцій для систем «Квадро-1» та «Квадро-2» в рамках технології безкранових монтажів, виконано збір навантажень і проведено перевірочні розрахунки для залізобетонних димових труб найбільш поширених типорозмірів. Розрахунки виконувалися за методикою, описаною в другому розділі, для максимально віддалених положень демонтуємих конструкцій при підйомі вантажу масою 2, 4 та 8 тонн.

У таблиці 3.1 надано зведену інформацію про зони раціонального застосування технології безкранових монтажів при реконструкції головних корпусів ТЕС для монтажних систем «Квадро-1» та «Квадро-2».

При порівнянні результатів розрахунків на вплив неповного вітрового навантаження та додаткових сил від монтажної системи з впливом повного вітрового навантаження і сейсмічних сил, були визначені граничні умови для безпечного використання димових залізобетонних труб залежно від висоти труби та маси вантажу, що піднімається. Зважаючи на різницю в значеннях вітрових та сейсмічних навантажень, розрахунки проводилися для найбільш поширених умов України, а саме для I вітрового району [3] та сейсмічної активності 6 балів [7].

Таблиця 3.1 – Область раціонального застосування технології безкранових монтажу при реконструкції головних корпусів ТЕС

Висота димової труби	Можливість застосування					
	Монтажна система «Квадро-1»			Монтажна система «Квадро-2»		
	2 т	4 т	8 т	2 т	4 т	8 т
100 м	-/+	-/+	-	+	-/+	+
120 м	+	-/+	-	+	-/+	+
150 м	+	-/+	-/+	+	+	+
180 м	+	+	-/+	+	+	-
240 м і більше	+	+	+	+	+	+

«-» - застосування монтажної системи не можливо;

«- / +» - можливість застосування монтажної системи залежить від умов об'єкта і положення замінної конструкції; «+» - застосування монтажної системи можливо.

3.2 Використання димових труб як опор для монтажних систем

Димові труби на діючих теплоелектростанціях регулюються ПБ 03-445-02 «Правилами безпеки при експлуатації димових та вентиляційних промислових труб». Для перевірки можливості застосування димової труби як опорної конструкції було виконано комплекс заходів згідно з вимогами чинних правил промислової безпеки. Відповідно до нормативних документів [9], встановлення будь-яких пристроїв на димову трубу дозволяється лише після затвердження технічних рішень проектувальником щодо тимчасового використання труби в якості опори.

У межах перевірки результатів спільно з генеральним проектувальником ВАТ «Теплопроект» було проведено комплекс теплотехнічних, аеродинамічних, статичних та динамічних розрахунків для димової труби. Для оцінки можливості використання димових труб як опорних конструкцій для монтажних систем «Квадро» виконано моделювання напружено-деформованого стану залізобетонної монолітної димової труби Київської ТЕС-3 висотою 240 м. Розрахунки враховували знижувальні коефіцієнти, що відображають фактичний технічний стан труби.

У рамках узгодження використання димаря №2 (Н = 240 м) Київської ТЕС-3 як опорної конструкції було здійснено комплексне технічне обстеження з подальшим висновком щодо промислової безпеки [6]. Результати технічного обстеження, робочий проект розташування монтажної системи «Квадро» та результати математичного моделювання було передано генеральному проектувальнику ВАТ «Теплопроект» (м. Харків). Для виконання статичних і динамічних розрахунків залізобетонного стовбура труби використовувалась програма «Ствол 1», яка враховує технічний стан конструкції. Цей програмний апарат реалізує фізично нелінійну модель залізобетону, яка дозволяє не лише оцінити граничний стан конструкції, а й визначити реальний стан на будь-якому рівні впливу.

Виконано такі розрахунки стовбура димової труби:

1. Розрахунок за вихідними проектними даними при УРП = 0,85, проектному вітровому навантаженні 0,30 кН/м², з проектними прорізами без врахування пошкоджень.

2. Розрахунок за попереднім варіантом з урахуванням середньоінтегрального ослаблення стовбура труби на 0,1 із середньоквадратичним відхиленням 0,05.

3. Розрахунок за першим варіантом з вітровим навантаженням 0,05 кН/м² та додатковими моментами від підвіски канатної системи на відм. 235 м.

4. Розрахунок за третім варіантом з урахуванням ослаблення за другим варіантом.

В процесі розрахунків було враховано температурні перепади, що виникають через нагрівання ствола труби димовими газами, а також інші навантаження, такі як вітрові, сейсмічні та монтажні впливи. Метод кінцевих елементів у лінійній постановці показав, що зусилля та переміщення в перетинах труби не перевищують допустимих значень, визначених за допомогою фактичних характеристик матеріалів. Результати розрахунків по переміщенням були зіставлені з гранично допустимими деформаціями, а значення зусиль дозволили оцінити несучу здатність перетинів труби.

Згідно з таблицею 3.2, результати, отримані за допомогою програм "Сутінок" та "Ствол 1" для 1-го і 3-го варіантів розрахунків, показали значну різницю. Зокрема, згинальні моменти за методом кінцевих елементів у лінійній постановці відрізнялися на 1,83 рази, а переміщення — на 3 рази. Врахування нелінійних процесів деформування матеріалу забезпечує більш точну оцінку напружено-деформованого стану труби.

За результатами перевірки, виконаної з урахуванням пошкоджень і з використанням фізично нелінійної моделі, встановлено, що напруження в трубі не перевищують допустимі значення, за винятком випадку одночасного впливу сейсмічних і монтажних навантажень, що є малоймовірним. При інтегральному обліку пошкоджень напруження залишаються в межах допустимих значень.

Таблиця 3.2 – Зіставлення результатів розрахунків розрахункових комплексів «Сутінок» і «СТОВБУР-1»

№ варіанту розрахунку	Вілмітки, м	Момент і коефіцієнт		Переміщення	
		$М_{изг}^{ствол}$, т*м	$М_{изг}^{Сумрак}$ / $М_{изг}^{Ствол}$	$\Delta^{ствол}$, м	$\Delta^{Сумрак}$ / $\Delta^{ствол}$
Повне вітрове навантаження	0,00	27471,4	1,28	0	-
	90,0	11262,1	1,32	0,29	0,18
	172,5	2590,8	1,34	0,74	0,40
	215,0	840,1	1,45	1,05	0,48
	240	0	-	1,24	0,51
Сейсмічне навантаження	0,00	21757,8	1,42	0	-
	90,0	8940,6	1,62	0,36	0,13
	172,5	2894,9	1,43	1,05	0,27
	215,0	768,9	1,03	1,58	0,31
	240	0	-	1,94	0,32
Вітрове та монтажне навантаження	0,00	15018,8	1,83	0	-
	90,0	8640,1	1,57	0,36	0,12
	172,5	3507,2	1,24	1,01	0,27

Згідно з висновками генерального проектувальника ВАТ «Теплопроект», використання димової труби як опорної конструкції для монтажних систем «Квадро» можливе за умови виконання проектних вимог і обмеження вітрових навантажень до 0,5 кН/м², що відповідає швидкості вітру до 10 м/с. Після проведених розрахунків і комплексного обстеження димової труби, а також аналізу технічних рішень, експертною організацією ВАТ «ОРГРЕС» було підтверджено, що використання димової труби в якості опорної конструкції для системи «Квадро» є можливим.

Таким чином, застосування димових труб як опорної конструкції в межах певних параметрів (згідно з таблицею 3.2) є можливим, при дотриманні відповідних технічних умов і вимог. На рисунку 3.1 наведені графіки згинальних моментів в залежності від виду навантажень на димову трубу та руйнівного моменту для розрахунків, виконаних генеральним проектувальником ВАТ «Теплопроект».

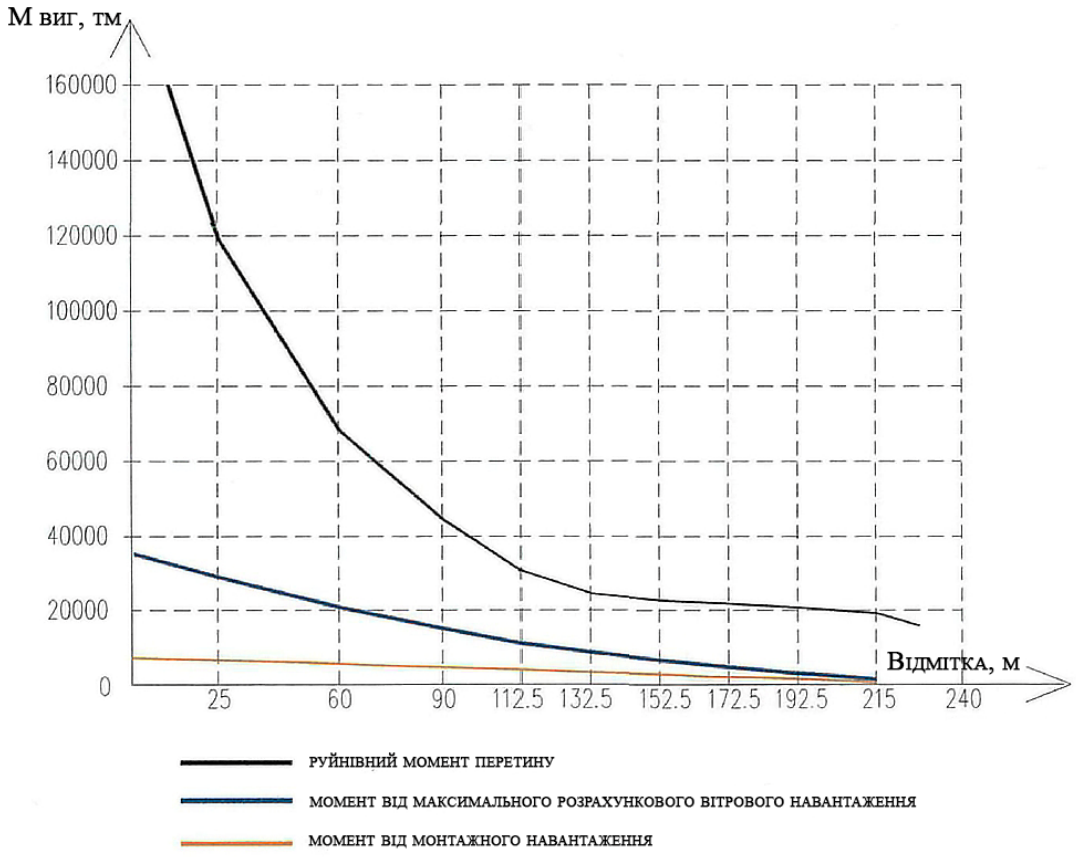


Рисунок 3.1 – Графік згинальних моментів в залежності від виду навантажень діючих на димову трубу і руйнівний момент перетину

Для застосування монтажних систем «Квадро-1» і «Квадро-2» в рамках технології безкранових монтажів необхідним і достатнім критерієм є задовільний технічний стан залізобетонного стовбура димаря.

3.3 Застосування несучих конструкцій головного корпусу для монтажної системи «Квадро-2»

Умовою застосування монтажної системи «Квадро-2» технології безкранових монтажу є розміщення елементів монтажної системи на покрівлі головного корпусу ТЕС. Для підтвердження можливості використання несучих конструкцій для кріплення монтажної системи, проведено порівняльний аналіз навантажень від монтажної системи «Квадро-2» на несучі конструкції покриття головного корпусу та діючих навантажень під час експлуатації, а також тих, що передбачені на етапі проектування. У цьому аналізі використовувались кроквяні металеві ферми покриття будівлі головного корпусу Харківської ТЕС.

Вибір цього об'єкта було обумовлено кількома факторами:

- Крок колон і сталевих ферм корпусу складає 12,0 м, що визначає максимальну масу вантажу, що піднімається, в 8 т для всіх варіантів розрахунку.

- Прольоти покриття котельного та турбінного відділень складають 30 м і 39 м, що є максимальними для більшості головних корпусів ТЕС.

Для оцінки несучої здатності стропильних ферм котельного та турбінного відділень головного корпусу Харківської ТЕС-1 виконані перевірочні розрахунки шляхом порівняння навантажень від снігу та монтажної системи «Квадро-2» на вузли стропильних ферм. Для цього було проведено збір навантажень, що діють на несучі конструкції головного корпусу ТЕС від монтажної системи «Квадро-2», включаючи навантаження від монтажної стріли, розподільних балок та вантажу, що піднімається.

Згідно з даними для IV снігового району, розрахункове значення снігового навантаження становить 240 кг/м². Навантаження на вузли ферм від снігового навантаження визначається за наступною формулою:

$$S_i = S \times L_i \times B \times \gamma_n, \tag{3.1}$$

де S = 240 кг / м2 - розрахункове значення снігового навантаження; L_i - довжина ділянки між вузлами верхнього пояса; B = 12 м - крок кроквяних ферм; γ_n = 0,95 - коефіцієнт надійності за призначенням будівлі, прийнятого як для промислового об'єкта з важливим народногосподарським значенням.

Розрахунок навантажень від дії монтажної системи «Квадро-2» було виконано згідно з методикою, описаною в розділі 2, за допомогою розрахункового комплексу ПК «Ліра». В результаті розрахунків отримано максимальні значення вузлових навантажень. Схема розташування монтажної системи «Квадро-2» наведена на рис. 2.23 і 3.1. Найбільші зусилля у вузлах ферм спостерігаються під час «вивішування» умовної конструкції масою 8 тонн (значення зусиль наведені у лівій частині нерівності, результати від снігового навантаження – у правій).

Для осі Г:

- Вузол ферми 1 (G_1): -0.33 т < -5.82 т
- Вузол ферми 3 (G_2): -3.54 т < -8.21 т
- Вузол ферми 4 (G_3): -2.40 т < -6.156 т

Для осі В:

- Вузол ферми 1 (G_3): 0.07 т < -6.156 т
- Вузол ферми 3 (G_2): -2.88 т < -8.21 т
- Вузол ферми 4 (G_1): -1.26 т < -5.82 т

Для осі А:

- Вузол ферми 1 (G_1): -2.31 т < -5.82 т
- Вузол ферми 3 (G_2): -5.04 т < -8.21 т
- Вузол ферми 4 (G_3): -0.24 т < -6.156 т

У разі виникнення перекидаючих зусиль в опорному вузлі розподільної балки, вони компенсуються вагою покриття або додатковим «привантаженням» при необхідності.

На основі виконаного аналізу навантажень і перевірочних розрахунків можна зробити висновок, що в теплий період року, за відсутності снігового навантаження, несуча здатність елементів ферм котельного та турбінного відділень забезпечується навіть під впливом монтажної системи «Квадро-2». У разі виконання робіт взимку потрібно запобігати накопиченню снігу в робочій зоні монтажної системи.

Рішення про використання несучих конструкцій покриття як опори для елементів монтажної системи «Квадро-2» має прийматися за результатами комплексного технічного обстеження. Виходячи з отриманих результатів, можна стверджувати, що для застосування монтажної системи «Квадро-2» під час реконструкції чи капітального ремонту головного корпусу ТЕС потрібен лише задовільний технічний стан несучих конструкцій покриття в зоні проведення робіт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено дослідження умов виконання робіт із заміни огороджувальних конструкцій головних корпусів діючих теплоелектростанцій. Виділено ключові фактори, що характеризують об'єкт реконструкції: типова структура генеральних планів ТЕС із обмеженим простором; наявність димових труб у складі станції; уніфіковані конструктивні рішення головних корпусів; специфіка роботи в умовах чинного енергопідприємства. Визначено, що для виконання робіт із землі за допомогою крана необхідно забезпечити виліт стріли в межах 40-60 м, висоту підйому 35-70 м та вантажопідйомність 3-10 т.

2. Аналіз існуючих технологій заміни огороджувальних конструкцій виробничих будівель показав їх значні недоліки в умовах реконструкції або капітального ремонту головних корпусів діючих теплоелектростанцій. Основними проблемами є обмеженість застосування, висока кошторисна вартість, значна трудомісткість та перешкоди для основного технологічного процесу станцій.

3. Розроблено вдосконалену технологію безкранового монтажу огороджувальних конструкцій виробничих будівель ТЕС. Вона дозволяє здійснювати роботи в умовах обмеженого простору існуючих генеральних планів і без зупинки виробничого процесу. У рамках цієї технології досліджено монтажні системи «Квадро-1» і «Квадро-2», що адаптовані для різних конструктивно-технологічних рішень головних корпусів ТЕС і можуть бути застосовані на інших промислових об'єктах із димовими трубами.

4. Досліджено технологічні можливості монтажних систем і визначено області їх раціонального використання для технології безкранового монтажу будівельних конструкцій під час капітального ремонту та реконструкції головних корпусів теплоелектростанцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвєєв Е.П. Будівельні матеріали: навчально-довідковий посібник. Київ, 2009. 699 с.

2. Булгаков С.Н. Попередня напруга сталевих баштових споруд, що здійснюється в процесі монтажу. Київ : СИ, 2005. 303 с.

3. Алексєєв В.Є. Теорія графів: навчальний посібник. Харків, 2017. 119 с.

4. Кутуков В.Н. Реконструкція будівель: навч. посібник. Київ : ВШ, 2008. 263 с.

5. Мешічек В.В., Ройтман А.Г. Капітальний ремонт, модернізація та реконструкція житлових будинків: навч. посібник. Київ : СІ, 2005.241 с.

6. Виноградова Є.В. Розробка ресурсно-технологічної моделі енергозберігаючого заходу для вузу із застосуванням сучасних будівельних матеріалів. *Науковий огляд у будівництві*. 2015. №24. С. 452-457.

7. Миловидов Н.Н., Осин В.А., Шумилов М.С. Ефективні способи монтажу будівельних конструкцій. Київ,2000. 240 с.

8. Михалко В.Р. Монтаж сталевих та залізобетонних конструкцій. Київ: СІ, 2000. 311 с.

9. Волинський Б.М. Конструктивні рішення енергозберігаючих будівель. Енергозбереження в будівельній сфері. 2012. №3. С. 67.

10. Олейник П.П., Фомиль Л.Ш. Інженерна підготовка території будівельного майданчика: навч. посібник. Київ:СІ, 2006. 240 с.

11. Поляков Е.В. Реконструкція та ремонт житлових будинків: навчальний посібник. Київ : НЕДРА, 1997. 192 с.

12. Тимошенко О.П. До обґрунтування підвищення теплозахисту конструкцій будівель, що захищають. *Будпрофіль*. 2010. № 1. С. 21-23.

13. Швець В.Б., Фёклін В.І., Гінзбург Л.К. Посилення і реконструкція фундаментів. Харків : СІ, 2002. 203 с.

14. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент: навч.

посіб. для студ. ВНЗ . 3-тє вид., доп. та перероб. Харків, 2006. 319 с

15. Мещеряков, Г.Н., 2012. Исследование и моделирование процессов взаимодействия шпунтовых свай, погружаемых вдавливанием. *Наук. -тех. жур. НДІБВ: Нові технології в будівництві* . Вип. No 1-2 (23-24), Україна. С. 27.

16. Hamilton G. The challenges of capacity building in PPP in Central Asia: speech on the III Astans Economic Forum, Kazakhstan, 1-2 July, 2010

17. Andrea Chegut, Piet Eichholtz, Rogier Holtermans Energy efficiency and economic value in affordable housing. Energy Policy. 2016. Vol. 97, P. 39-49.

18. Medrano-Gomez L.E., Izquierdo A.E. Social housing retrofit: Improving energy efficiency and thermal comfort for the housing stock recovery in Mexico. Energy Procedia. 2017. Vol. 121, P. 41-48.