

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до випускової роботи магістрів
спеціальності G11 "Машинобудування",
освітня програма G11.05 "Транспортні засоби" /
"Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні,
меліоративні машини і обладнання"
всіх форм навчання

Методичні вказівки до випускової роботи магістрів спеціальності G11 "Машинобудування", освітня програма G11.05 "Транспортні засоби" / "Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання" всіх форм навчання / Укл. Л.М. Мартовицький, В.І. Глушко, Р.О. Фролов, С.В. Кирилах. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 46 с.

Укладачі: Л.М. Мартовицький, канд.техн.наук., доцент;
В.І. Глушко, канд.техн.наук., доцент, декан М
факультету;
Р.О. Фролов, канд. техн. наук, зав. каф. ДМ і ПТМ;
С.В. Кирилах, ст. лаборант кафедри "Композиційні матеріали, хімія
та технології"

Рецензент: М.В. Сидоренко, канд.техн.наук., доцент кафедри ДМ і
ПТМ

Відповідальний за випуск: – Р.О. Фролов, канд.техн.наук., зав. каф.
ДМ і ПТМ

Затверджено
на засіданні кафедри
“Деталі машин і ПТМ”
Протокол № 9 від 03 червня 2026р.

Рекомендовано
До видання
НМК М-факультета
Протокол № 9 від 09 червня 2026 р.

ЗМІСТ

С.

1	Зміст і загальні положення.....	5
1.1	Мета і завдання випускної роботи. Опис освітньої компоненти.....	5
1.2	Об'єм і зміст проекту.....	7
1.2.1	Загальні положення.....	7
1.2.2	Склад пояснювальної записки.....	9
1.3	Можливі теми випускових магістерських робіт.....	11
2	Анотовані приклади виконання науково-дослідних магістерських робіт.....	15
2.1	Лінії впливу для систем із змінною статичною визначеністю.....	15
2.1.1	Мета роботи.....	15
2.1.2	Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	15
2.1.3	Аналітичне дослідження теми.....	16
2.1.4	Висновки та рекомендації.....	18
2.2	Вплив форм та характеристик перетинів кранових стріл на їх несучу здатність.....	19
2.2.1	Мета роботи.....	19
2.2.2	Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	19
2.2.3	Аналітичне дослідження тем.....	20
2.2.4	Висновки і рекомендації.....	24
2.3	Структурно-точностний аналіз металургійних кранів з жорстким підвісом вантажу, як передумова створення підйомно-транспортних кранів-роботів.....	24
2.3.1	Мета роботи.....	24
2.3.2	Актуальність теми і постановка задач дослідження.....	24
2.3.3	Теоретичне дослідження теми.....	25
2.3.4	Висновки та рекомендації.....	28
2.4	Дослідження перекосів кранових коліс.....	29
2.4.1	Мета роботи.....	29
2.4.2	Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	29
2.4.3	Дослідження теми роботи.....	30
2.4.4	Висновки і рекомендації.....	33
2.5	Дослідження низьколегованих сталей на втому.....	33

2.5.1 Мета роботи.....	34
2.5.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	34
2.5.3 Дослідження теми роботи.....	34
2.5.4 Висновки і рекомендації.....	37
2.6 Дослідження настінно-стрілового крану-трансформера із змінною геометрією та структурою.....	37
2.6.1 Мета роботи.....	35
2.6.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	37
2.6.3 Розробка та дослідження структурної схеми крана- трансформера.....	38
2.6.4 Висновки та рекомендації.....	41
2.7 Дослідження несучої здатності головних кранових балок з гофрованої листової сталі.....	41
2.7.1 Мета роботи.....	41
2.7.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження.....	41
2.7.3 Дослідження теми роботи.....	43
2.7.4 Висновки та рекомендації.....	45
Перелік джерел посилання.....	46

1 ЗМІСТ І ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Мета і завдання випускної роботи. Опис освітньої компоненти

Робота та захист випускової магістерської роботи – найбільш активна завершуюча форма учбового процесу, яка пов'язана з розширенням, поглибленням, узагальненням, систематизацією і закріпленням теоретичних, практичних знань, умінь і навиків, придбаних студентами за весь період навчання [1].

Випускова робота та її зміст встановлюють відповідність рівня підготовки магістра галузевим кваліфікаційним вимогам до професійної підготовки випускника вищого навчального закладу із спеціальності G11 "Машинобудування", освітня програма G11.05 "Транспортні засоби" / "Підйомно-транспортні, дорожні, будівельні, меліоративні машини і обладнання", а також віддзеркалює соціальне замовлення на магістра. Під час виконання роботи студент повинен продемонструвати фахову готовність до роботи інженером в конструкторських і технологічних бюро підприємств машинобудівного профілю, відділах головного механіка, технолога, конструктора, науково-дослідних лабораторіях і організаціях, навчальних закладах; виконувати роботу, пов'язану із конструюванням нових і модернізацією існуючих засобів технологічного оснащення, механізації та автоматизації виробництва; науково супроводити технічні розробки та експлуатацію різноманітного обладнання; вести науково-дослідну та викладацьку роботу, що передбачають дослідження та/або здійснення інновацій та характеризуються невизначеністю умов та вимог.

Загальні компетентності:

- здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність бути критичним і самокритичним;
- здатність генерувати нові ідеї (креативність);
- здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми;

- здатність приймати обґрунтовані рішення;
- здатність абстрактно мислити, генерувати нові ідеї, аналізувати та синтезувати.

Спеціальні (фахові) компетентності:

- здатність створювати, удосконалювати та застосовувати кількісні математичні, наукові і технічні методи та комп'ютерні програмні засоби, застосовувати системний підхід для розв'язування інженерних задач галузевого машинобудування, зокрема, в умовах технічної невизначеності;

- критичне осмислення передових для галузевого машинобудування наукових фактів, концепцій, теорій, принципів та здатність їх застосовувати для розв'язування складних задач галузевого машинобудування і забезпечення сталого розвитку;

- здатність створювати нову техніку та технології в галузі механічної інженерії;

- усвідомлення перспективних завдань сучасного виробництва, спрямованих на задоволення потреб споживачів, володіння тенденціями інноваційного розвитку технологій галузі.

- здатність розробляти і реалізовувати плани й проекти у сфері галузевого машинобудування та дотичних видів діяльності, здійснювати відповідну підприємницьку діяльність.

- здатність створювати і вміння захищати інтелектуальну власність у галузі підйомно-транспортного, будівельного машинобудування.

Результати навчання:

- знання і розуміння засад технологічних, фундаментальних та інженерних наук, що лежать в основі підйомно-транспортного, будівельного машинобудування.

- знання та розуміння механіки і машинобудування та перспектив їхнього розвитку.

- знати і розуміти процеси підйомно-транспортного, будівельного машинобудування, мати навички їх практичного використання.

- здійснювати інженерні розрахунки для вирішення складних задач і практичних проблем у підйомно-транспортному, будівельному машинобудуванні.

- аналізувати інженерні об'єкти, процеси і методи підйомно-транспортного, будівельного машинобудування.
- відшукувати потрібну наукову і технічну інформацію в доступних джерелах, зокрема, іноземною мовою, аналізувати і оцінювати її.
- готувати виробництво та експлуатувати вироби підйомно-транспортного, будівельного машинобудування протягом життєвого циклу.
- розв'язування завдань з підвищення якості продукції підйомно-транспортного, будівельного машинобудування.
- вміння розробляти, досліджувати машини та устаткування підйомно-транспортного, будівельного машинобудування на базі систем автоматизованого проектування із використанням інформаційних технологій.

1.2 Об'єм і зміст проекту

1.2.1 Загальні положення

Тему роботи може розробляти один студент (індивідуальна робота), або група студентів однієї кафедри, різних кафедр та різних спеціальностей (комплексна робота). Випускова робота може бути виконана за іноваційно-конструкторським, дослідницько-експлуатаційним, логістичним, дослідницько-теоретичним напрямками.

Випускова робота складається із пояснювальної записки та ілюстративної частини у вигляді плакатів, креслень, графіків, світлин, програмних анімацій, розрахункових та проектувальних програмних продуктів.

Пояснювальна записка (ПЗ) випускової роботи включає 80-100 сторінок тексту (формат А4), а ілюстративна частина - 3-4 листи плакатів (формат А1).

Об'єм пояснювальної записки і графічної частини комплексних, дослідницьких і виконаних на реальній основі випускових магістерських робіт встановлюється кафедрою [2].

Пояснювальна записка повинна в короткій і чіткій формі розкривати актуальність, новизну та творчий задум теми, методи

наукових досліджень, теоретичний апарат, методи інноваційних конструкторських розробок, включати отримані результати досліджень, їх аналітичне і графічне представлення та інтерпретація їх в теоретичному та практично-прикладному аспекті.

Пояснювальна записка повинна мати тверду обкладинку або знаходитись в спеціальній папці. Титульний лист пояснювальної записки є першою сторінкою і повинен мати форму, затверджену Міністерством освіти і науки України.

Всі сторінки записки нумеруються. При цьому першою сторінкою є титульний лист, на ньому номер сторінки не ставиться. Нумерація виконується арабськими цифрами у правому верхньому куті сторінки на відстані від першого рядка, рівній міжрядковому інтервалу в головному тексті.

В тексті повинні бути приведені теоретичні розробки, аналітичні залежності, розрахунки та обґрунтування прийнятих рішень в тій послідовності, в якій вони виконуються. Вони повинні супроводжуватись необхідними рисунками, схемами, графіками, таблицями, світлинами та ін.

Формули слід записувати в остаточному вигляді. Символи формул повинні бути стандартними або загальноприйнятими в машинобудуванні. При наявності декількох формул їх нумерують порядковими номерами в межах розділу, який розглядається. Номер формули складається з номера розділу та через крапку порядкового номеру цієї формули в даному розділі. Нумери записують в круглих дужках праворуч від формули.

Цифровий матеріал рекомендується зводити до таблиць, кожен з яких слід поміщати після першого згадування про неї в тексті та нумерувати їх. Номер складається з номера розділу і номера таблиці в цьому розділі. Цифри розділяють крапкою та розміщують після слова «Таблиця». Далі слід поставити тире і з великої літери дати назву таблиці.

Схеми, рисунки, зображення виконуються по тексту при необхідності проілюструвати зміст. Ілюстрації не повинні дублювати графічну частину проекту. Підписують їх знизу словом «Рисунок» з нумерацією, аналогічною нумерації таблиць, а далі після тире повинна бути назва з великої літери. Після назви таблиці, рисунка ставлять

крапки. В тексті посилання на таблиці і рисунки починаються із скорочень «Рис. ...» або «Табл. ...».

В розділі зміст пояснювальної записки послідовно переліковуються заголовки всіх розділів, підрозділів і додатків з їх нумерацією та вказують сторінки, на яких вони розміщені.

Розділи нумерують послідовно однією цифрою, після якої не ставлять крапку. Назву розділів пишуть великими літерами, жирним збільшеним шрифтом, крапка в кінці не ставиться. Підрозділи нумерують подвійними цифрами через крапку. Перша цифра – це номер розділу, друга – порядковий номер підрозділу в цьому розділі. Після крапки з великої літери пишуть назву підрозділу шрифтом на один номер більшим за основний текст і більш жирним. В кінці ставлять крапку. Вступ, висновки, перелік використаних джерел, додатки приводяться без нумерації розділів.

Перелік використаних джерел записують з нової сторінки. Він повинен вмішувати усі використані джерела в порядку їх згадування (коли з'являються посилання) в тексті пояснювальної записки.

У відомостях про використані джерела (підручники, довідники, монографії і т.д.) указуються прізвища та ініціали авторів, назву джерела, місце видання, видавництво та рік видання, кількість сторінок.

Посилання на використанні джерела в тексті пояснювальної записки даються скорочено; в квадратних дужках вказується номер джерела за переліком. У деяких випадках доцільно після джерела вказувати номер таблиці або сторінки, наприклад: [5, табл. 6], або [5, табл. 6, с. 50]. При написанні пояснювальної записки магістерської випускової роботи слова або позначення скорочувати не допускається.

Ілюстративний матеріал, таблиці або текст допоміжного характеру дозволяється давати у вигляді додатків, які оформлюють, як продовження пояснювальної записки на наступних сторінках відповідно вказівкам.

Загальні вимоги до ПЗ: чіткість побудови, доказовість дослідницьких доведень і наукових висновків, логічна послідовність викладання матеріалу, стислість та чіткість формулювань, конкретність результатів роботи.

1.2.2 Склад пояснювальної записки

Пояснювальна записка магістерської випускової роботи складається із наступних частин: титульний лист, завдання на дослідження, реферат, зміст, вступ, текст всіх розділів та підрозділів, висновки, перелік використаних джерел, додатки.

Титульний лист повинен бути встановленого кафедрою зразка.

У завданні на дослідження вказується: тема дослідження, вихідні дані для конкретизації дослідження та реальності подальших інженерних розробок та рекомендацій, граничні та крайові умови досліджуваних процесів та явищ, об'єм та глибину дослідження, дату видачі завдання, графік з датами виконання розділів та захисту роботи.

Титульний лист та бланк завдання повинні бути підписані автором, керівником, консультантами по розділам, нормоконтролером, завідувачем кафедрою.

РЕФЕРАТ повинен включати: свідчення про об'єм роботи, кількість ілюстрацій, таблиць, використаних джерел, перелік ключових слів і текст реферату.

Текст реферату повинен містити відомості про об'єм роботи, кількість рисунків, таблиць. Далі йдуть ключові слова (не більше восьми). Після цього треба в стислій формі вказати мету роботи, наявність та методи теоретичних та експериментальних досліджень, результати досліджень та їх новизну і актуальність, апробацію отриманих науково-конструкторських рішень та рекомендацій.

У ВСТУПІ слід висвітлити сучасний світовий рівень з вибраного напрямку дослідження, акцентувати увагу на сучасних та перспективних методах і засобах теоретичних та експериментальних досліджень за темою роботи.

У ПЕРШОМУ розділі необхідно провести літературний огляд із заданої теми роботи. Бажано використати інформацію з наукової літератури, наукових фахових журналів, Internet-інформацію, довідників, нормативних документів, проспектів провідних фірм, наукових монографій та дисертацій, авторських свідоцтв та патентів і ін.

Провести системний аналіз інформації, результатом якого повинна бути оцінка актуальності та новизни обраної теми, а також сформульовані задачі дослідження.

У ДРУГОМУ розділі приводяться методики та математичний апарат теоретичного дослідження або проведення експерименту. Тут також даються методи обробки та візуального представлення отриманих теоретичних та експериментальних результатів. Це можуть бути світлини, креслення, табличні результати, рівняння та системи, схеми, графіки, комп'ютерні програми, технічні рекомендації, нормативні документи, методичні розробки і ін.

В ТРЕТЬОМУ розділі дають інструктивні та методичні вказівки і рекомендації по використанню отриманих результатів роботи, а також їх апробацію. Апробацією результатів наукових досліджень є: участь в наукових конференціях (повинні бути записи в програмах конференцій, а також тезис), участь та по можливості отримання призового місця в конкурсі студентських наукових робіт, прийнята до друку (краще надрукована) наукова стаття, заявка на винахід або патент, авторство в методичних виданнях, комп'ютерних програмах, нормативних документах, інструкція до експлуатації та обслуговування, конструкторські реальні розробки.

У ВИСНОВКАХ слід в стислій формі сформулювати основні постулати та результати досліджень і видати конкретні рекомендації що до їх використання в теоретичному напрямку та в фахових інженерних проектах і задачах.

Перелік ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ містить спеціальну літературу та фахові нормативні документи, необхідні для розробки теми дослідження.

У ДОДАТКАХ включають необхідні цифрові, табличні дані, формули та аналітичні залежності, графічні зображення, результати розрахунків, креслення, копії документів, необхідні довідникові дані. Додатковий матеріал допомагає глибше та повніше розкрити тему роботи.

1.3 Можливі теми випускових магістерських робіт

1. Спосіб виставки ходових коліс мостових кранів за допомогою ексцентричних опорних втулок.
2. Регулювання стабільності прямолінійного руху мостових кранів вздовж прольоту.
3. Розробка та дослідження функціонування робота, який має ланки у вигляді взаємно-спряжених ексцентрично-рухомих платформ.
4. Розробка та дослідження шарнірно-ланкового рухомого маніпулятора з додатковими керованими опорами в шарнірах.
5. Дослідження сіноусного приводу для роторно-поворотних багатопозиційних ділильних столів.
6. Дослідження експлуатаційних можливостей гнучких прольотних систем для кранів мостового типу.
7. Методика розрахунку елементів металоконструкцій на втому з урахуванням асиметрії циклу навантаження.
8. Вивчення процесів контактної взаємодії кранового колеса з рейкою.
9. Дослідження дефектів зварних з'єднань кранових металоконструкцій.
10. Дослідження напруженого стану балочних стріл баштових кранів.
11. Оцінка залишкового ресурсу металоконструкції вантажопідіймальних кранів.
12. Дослідження впливу попередніх пластичних деформацій на опір втоми сталі 09Г2С.
13. Фрактальні моделі виникнення втомних тріщин в металоконструкціях вантажопідіймних кранів.
14. Дослідження напруженого стану металоконструкції решітчастої телескопічної стріли автопідіймника.
15. Дослідження напруженого стану металоконструкції коробчастої телескопічної стріли автопідіймника.
16. Дослідження напружень втоми елементів несучих металоконструкцій.
17. Уніфікація модельного ряду кран-балок вантажопідіймністю $Q = 1 - 10 \text{ т}$.
18. Дослідження напружено-деформованого стану стрижня з тріщиною.

19. Дослідження роботи стрілової системи порталних кранів.
20. Порівняльний аналіз розрахунку металоконструкції крана традиційним методом і МКЕ.
21. Дослідження напружено-деформованого стану вузлів ферм ПТМ.
22. Дослідження впливу режимів роботи на проектування та експлуатацію кранів.
23. Діагностування стану металоконструкцій ПТМ методом акустичної емісії.
24. Дослідження роботи ходових коліс мостових кранів.
25. Оптимізація металоконструкцій кран-балок.
26. Перспективи впровадження гусеничного механізму пересування в конструкціях мостових кранів.
27. Вплив рівня середнього напруження та концентрації напруження на опір втоми маловуглецевої сталі.
28. Аналіз сучасних методів проектування механізмів та перспективи їх впровадження в навчальному процесі.
29. Дослідження настінного крана зі змінною геометрією.
30. Дослідження робочого процесу гідравлічних живильників целюлозоварочних котлів.
31. Дослідження вантажопідйомного крана з гнучким несучим органом.
32. Дослідження функціональних можливостей маніпуляторів на пневмошасі.
33. Дослідження впливу концентраторів напруги на опір втоми сталі Ст 3.
34. Вплив форми та характеристик перетину кранових стріл на їх несучу здатність.
35. Дослідження роботи важко навантажених активно-рухомих шарнірів в кранових металоконструкціях.
36. Дослідження сило-моментних характеристик стрілових систем баланс-кранів.
37. Вплив зміни структури шва на міцність зварювального з'єднання металоконструкцій.
38. Дослідження статичної невизначеності кранових мостів.

39. Вплив корозії на власну частоту коливання металоконструкції вантажопідіймального крана.

40. Оцінка стану металоконструкції з позицій механіки руйнування твердого тіла.

41. Розробка систем запобігання аварійному руйнуванню пролітних металоконструкцій мостового типу.

42. Дослідження конструктивних передпосилань переведення традиційних кранів в крани-роботи.

43. Застосування теорії вкладень та покриттів з метою оптимізації розкрою листового та штабового сортаменту.

44. Дослідження підвищення довговічності головних балок мостових кранів за рахунок перевертання їх на 180° в процесі експлуатації.

45. Розробка оптимальної конструкції рудного грейфера для роботи з агломератом.

46. Дослідження експлуатаційної стійкості стінки головної балки з гофрованого металу.

47. Вплив фактичної навантаженості на прецизійний розрахунок металоконструкцій кранів А7-А8 режимних груп.

48. Дослідження роботи поперечних діафрагм із змінним по прольоту нахила у коробчастих балках.

49. Дослідження можливості діагностування стану елементів металоконструкцій вібрметодом.

50. Теоретичне обґрунтування доцільності конструктивної різноманітності металоконструкцій однотипних кранів з різними параметрами.

51. Обґрунтування можливості застосування в ОПП поворотно-стрілових кранів самозмашувальних підшипників ковзання.

52. Розробка методів роботи активних протиаг стрілових кранів.

2 АНОТОВАНІ ПРИКЛАДИ ВИКОНАННЯ НАУКОВО-ДОСЛІДНИХ МАГІСТЕРСЬКИХ РОБІТ

2.1 Лінії впливу для систем із змінною статичною визначеністю

2.1.1 Мета роботи

Дослідження чотирьохопорних плоских рам мостів мостових кранів на змінність статичної визначеності та вироблення інженерних рекомендацій по усуненню впливу цих змінностей на витривалість металоконструкцій кранів.

2.1.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

В практиці проектування і експлуатації металоконструкцій вантажопідйомних кранів існують випадки, коли конструкція на протязі одного робочого циклу може змінювати характер своєї статичної визначеності.

Так поведуть себе мости двобалкових мостових кранів, чотирьохопорні вантажні візки, портали козлових, баштових і порталних кранів, тобто, конструкції, які завантажуються рухомими силами. Мости мають чотирьохточкове опирання крана (чотири опорно-ходових колеса) на підкранові рейки. Таку ж чотирьохточкову опорну конфігурацію мають рамні металоконструкції вантажних візків більшості двобалкових мостових, козлових, стрілових і інших вантажопідйомних кранів. Із класичної механіки відомо, що чотири точки опирання для плоскої системи призводять до статичної невизначеності, а для статичної визначеності системи достатньо трьох опорних точок. Таким чином, всі металоконструкції вантажопідйомних кранів мостових, козлових, порталних, баштових і інших кранів є один раз статично-невизначеними. Такі конструкції прийнято називати плоско-просторовими рамами, які складаються із двох головних та двох кінцевих балок, з'єднаних між собою зварюванням. Подібні структури складні в розрахунку та проектуванні, так як методи побудування ліній впливу для головних балок цих систем, як основного підходу до розрахунку балок на рухомі навантаження, ще наукою не запропоновані [1-4].

Необхідно вивчити поводження кранового двобалкового мосту, як системи із змінною статичною визначеністю, і розробити рекомендації по використанню ліній впливу для розрахунку головних балок пласко-просторових рам.

2.1.3 Аналітичне дослідження теми

В процесі експлуатації чотирьохопорна пласко-просторова рама мостового крана має в умовах експлуатації в кожному конкретному положенні вантажного візка вздовж прогону крана фактично три конкретні точки опори, комбінація яких в залежності від переміщення візка з вантажем може змінюватися. При русі візка назад попередня комбінація опорних точок моста відновлюється. Сполучення опорних точок також постійно змінюється і відновлюється під час руху мостового крана з вантажем вздовж підкранової колії. Отже, під час переходу візка з вантажем через критичне положення відбувається миттєве обертання моста крана відносно його діагональної осі. При обертанні моста вибирається зазір між колесом, яке до цього не було опорним, та підкрановою рейкою і в ту ж мить утворюється зазір під діагонально-протилежним колесом.

На рис. 2.1 приведено два положення чотирьохопорного вантажного візка вздовж мосту. Припустимо, що в першій позиції пласко-просторова рама мосту опирається на опорно ходові колеса $A_1 A_2 B_2$. Між колесом B_1 і рейкою є зазір δ , який утворюється за рахунок нормативних відхилень рівнів по вертикалі кожної підкранової рейки, а також експлуатаційної різниці діаметрів опорно-ходових коліс крана. Після переходу точки O_1 (центра ваги візка) через точку O (центр діагоналей моста), тобто візок переходить в другу позицію, відбувається миттєве обертання моста крана навколо діагоналі $A_1 B_2$ і балка 1 перетворюється з консольної на двоопорну, а пласко-просторова рама мосту отримує опорний контур $A_1 B_1 B_2$.

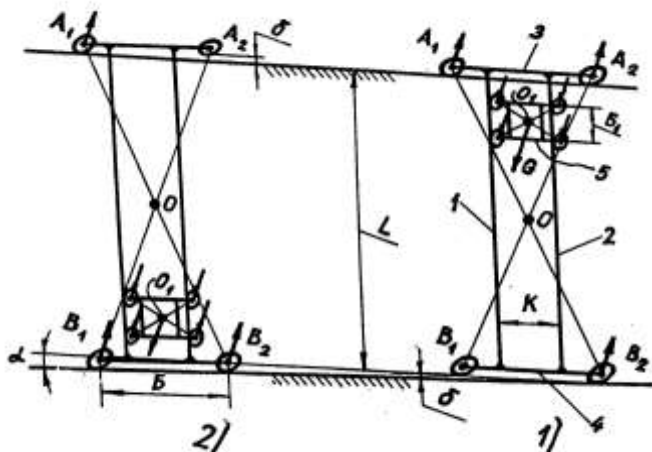


Рисунок 2.1 – Схема миттєвої зміни опорного контуру моста крану при пересуванні вантажного візка вздовж прогону

Як дослідницький апарат цієї наукової теми використано лінії впливу для балок (рис. 2.1, 2.2) мостових кранів.

Для першого положення головна балка 1, як основний несучий елемент, є консольною. При подоланні вантажного візка критичного положення головна балка миттєво стає двоопорною статично-визначеною. Відповідно, лінії впливу реакції опор A , згинаючих моментів $M_{\max}$ для балки змінюють свій характер (рис. 2.2). В цю ж мить лінія впливу згинаючого моменту $M_{\max}$ головної балки, як основного розрахункового фактора, змінює знак на протилежний. Якщо для консольної балки верхній пояс є розтягнутим, а нижній – стиснутим, то для двоопорної балки, навпаки, верхній є стиснутим, а нижній – розтягнутим. За повний цикл переміщення візка вздовж такої балки її верхній і нижній пояси завантажуються знакозмінними циклами з напруженнями, близькими до симетричного циклу. Часто при експлуатації малопрогінних кранів великої вантажопідйомності з важкими режимами роботи спостерігається наявність поперечних втомних тріщин як на верхніх, так і на нижніх поясах, що є доказом

присутності в поясах знакозмінних напружень. Ці обставини слід враховувати при розрахунках головних балок на втому.

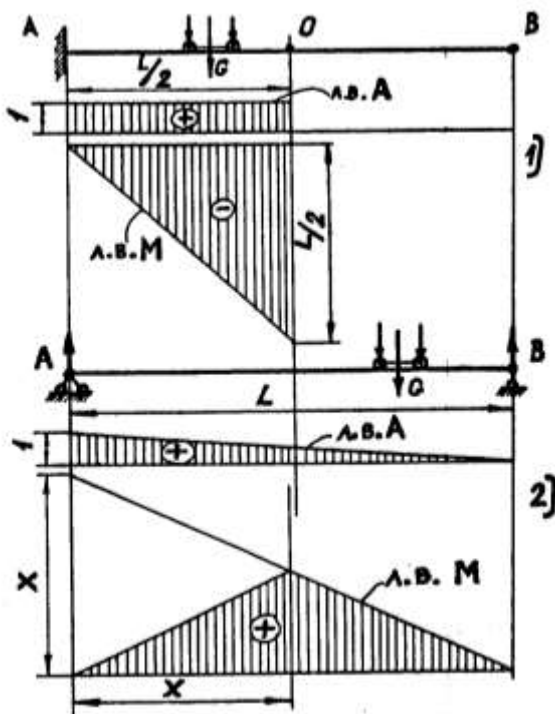


Рисунок 2.2 – Лінії впливу A та M для головної балки з різними умовами опирання

2.1.4 Висновки та рекомендації

В процесі експлуатації чотирьохопорна жорстка металоконструкція, яка є основою мостового, козлового і інших вантажопідйомних кранів, кожен мить перебуває фактично у стані трьохопорної, тобто статично-визначеної структури.

Рекомендується для короткопрогінних (до 20м) мостів вантажопідйомних кранів, які працюють в режимах А5...А8, виконувати розрахунок місць пристиковки головних балок до кінцевих на опір втомі від знакозмінних напружень, які виникають в результаті зміни характеру статичної визначеності плоско-просторових рам кранових мостів за кожний повний цикл роботи крана.

Необхідно також дотримуватись при експлуатації вантажопідйомних кранів нормативних відхилень стану підкранових та підвізкових рейок, не перевищувати допускних відхилень при виготовленні та монтажу ходових коліс та металоконструкцій вантажних візків і кранів.

2.2 Вплив форм та характеристик перетинів кранових стріл на їх несучу здатність

2.2.1 Мета роботи

Дослідження напруженого стану кранових телескопічних стріл з різними формами та параметрами поперечних перетинів, розробка оптимальної конструкції стріли, виходячи з умов її рівномірності.

2.2.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

Стріли листової конструкції в значній мірі визначають технічний рівень кранів та підйомників з телескопічними стрілами, так як від їх конструкції та маси залежить вантажовисотна характеристика машини.

Однім із шляхів підвищення вантажовисотних характеристик є зниження матеріалоемності спроектованої стріли шляхом вдосконалення методів розрахунку та проектування.

Дослідження впливу навантажень та типу опорних елементів на напружено-деформований стан в наш час є досить актуальним, оскільки проведені раніше роботи в цій області не дозволяють проводити розрахунки стріл із врахуванням дії навантажень від типу опор та їх реакції, які значно впливають на загальну міцність стріли.

Іноземні фірми в основному застосовують коробчасті стріли прямокутного поперечного перерізу. В сучасних телескопічних кранах та підйомниках застосовують перерізи відмінні від прямокутного, наприклад, шести- та восьмигранні (COLES), трубчасті та найсучасніші конструкції – овалоїдного перерізу (LIEBHERR). Тому виникає необхідність обґрунтування раціональності кожної форми поперечного перерізу стріли.

В різних роботах співставлення форм перерізів телескопічних стріл проводилось шляхом порівняння напружено-деформованого стану стріли від дії зовнішнього навантаження, без врахування навантажень від опорних елементів, величина яких може бути досить суттєвою та мати вирішальне значення при оцінці працездатності стріли.

Оптимізація конструкції телескопічної стріли при її мінімальній масі залежить від правильного вибору форми поперечного перерізу та врахуванні всіх діючих навантажень.

Задачі дослідження:

- теоретичне визначення параметрів форми поперечного перерізу стріли листової конструкції із врахуванням впливу навантажень в опорних елементах секцій шляхом аналізу існуючих форм поперечних перерізів;
- визначення дійсних напружень в перерізах стріли за допомогою комплексу програм SolidWorks;
- всебічний аналіз результатів та висновки щодо доцільності використання комплексу програм SolidWorks в дослідженнях металоконструкцій телескопічних стріл;
- генерація трьохмірної моделі рівнонапруженої стріли із змінною по довжині формою поперечного перетину;
- дослідження генерованої моделі.

2.2.3 Аналітичне дослідження тем

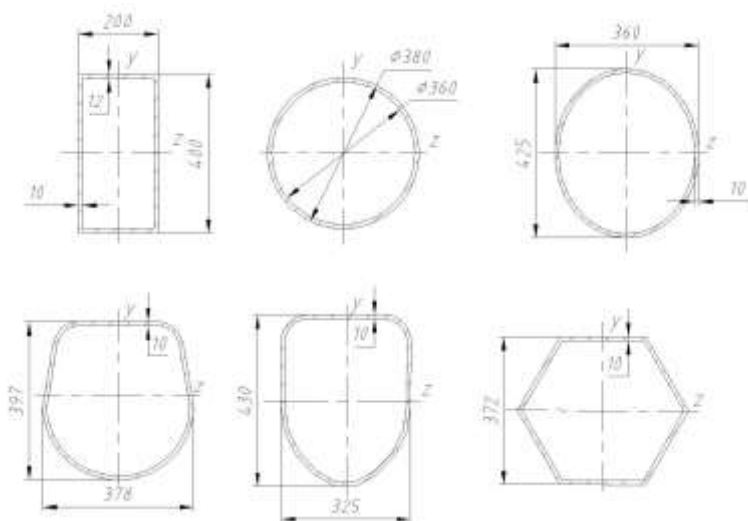
Розрахунок коробчастих стріл у вітчизняній практиці базується на переносі методів, розроблених для решітчастих кранових стріл, без врахування специфіки навантаження, а саме – сил, що виникають в опорних елементах секцій (колін) стріли.

Таким чином, розрахунок напружено-деформованого стану від дії зовнішніх навантажень, не викликає ускладнень, оскільки стріла являє собою стиснуто-зігнутий стержень змінної жорсткості та з точки зору розрахунку внутрішніх силових факторів є статично-визначеною системою, в якій напруження та деформації визначаються відомими методами.

Місцеві напруження, що виникають від навантажень опорних елементів секцій телескопічних стріл, порівнюються з напругами від загального вигину стріли і навіть можуть їх перевищувати. Це підтверджується спостереженнями за експлуатацією самохідних кранів, випадками руйнування зварних з'єднань в поясах стріли, наявністю пластичних деформацій поясів і бічних стінок секцій у зонах найбільших навантажень опорних елементів секцій (колін). Ймовірно, на величину місцевих напружень, крім величини навантаження опорних елементів, впливає також тип опорного елемента (сковзуни, ролики), ексцентриситет дії навантаження опорного елемента, а також форма і співвідношення геометричних параметрів поперечних перерізів секцій.

До телескопічних стріл сучасних пересувних кранів висуваються високі вимоги, такі, як товщина листового металу повинна бути не більше 8 мм, необхідність використання високоміцних конструкційних сталей з границею текучості $\sigma_T \geq 1000 \text{ МПа}$, доцільність виконання опорних елементів та пар тертя висувних елементів з високотехнологічних матеріалів. Крім того, все ускладнюється тенденцією до неплинного збільшення силомоментних та висотних технічних характеристик мобільних стрілових кранів, а також суворих маргінальних обмежень геометричних розмірів та допускного тиску на вісі ходової частини транспортного засобу.

Виходячи з попереднього, були проведені аналітичні дослідження напруженого стану корньової та головної частин телескопічних стріл найбільш поширених поперечних перетинів (рис. 2.3). При цьому використано метод кінцевих елементів з програмним комплексом SolidWorks.

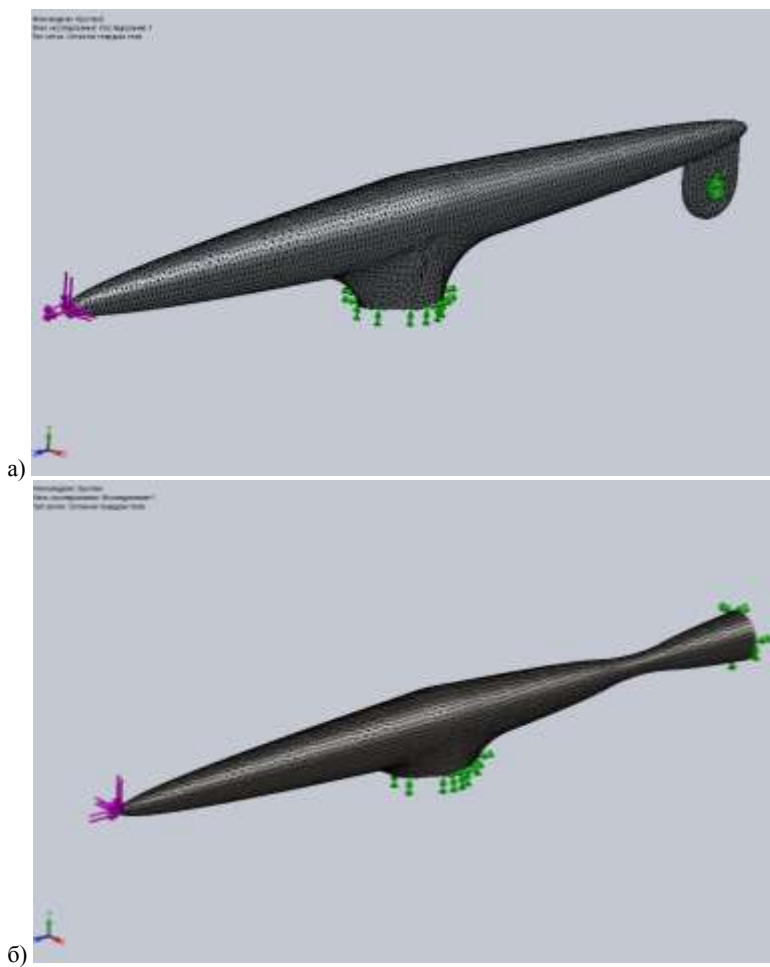


а) прямокутний; б) круглий; в) овальна; г, д) овалюїдний;
е) шестигранний.

Рисунок 2.3 – Типові сучасні поперечні перетини телескопічних стріл листової конструкції

При розрахунках стріл з різними поперечними перетинами моделювались ідентичні розрахункові умови: кут нахилу стріл - 30° до горизонту, дія ідентичних зовнішніх навантажень, однакові власні маси, скрізь враховується вплив на напружений стан умов опирання стріл.

Аналіз напруженого стану телескопічних стріл різних поперечних перетинів дозволив згенерувати віртуальні моделі кранових телескопічних стріл з шарнірним двоопорним закріпленням та з консольним зацімленням (рис. 2.4), які б відповідали умовам рівномірності кожного перетину.



а) з шарнірним двоопорним закріпленням; б) з консольно-защімленим закріпленням.

Рисунок 2.4 – Ідеальні моделі телескопічних стріл

2.2.4 Висновки і рекомендації

1. В корньовій секції виявлена концентрація напружень в місті з'єднання опори стріли та нижнього поясу. Саме похилий перехід опори до поясу слугує концентратором. Виникнення такого роду концентрації напружень може супроводжуватися місцевою пружною деформацією в цій зоні, тобто місцевої втраті стійкості. В провусині (кронштейні) кріплення стріли значні напруження не виникають.

В головній секції найбільш проблематичними місцями в металоконструкції є місця з концентраторами напружень, такі як кути. Виникнення такого роду концентрації напружень може супроводжуватися місцевою пружною деформацією в цій зоні, тобто місцевої втраті стійкості.

Підтверджений факт виникнення в місцях дії опорних елементів нормальних напружень більших, ніж нормальних напружень від балкового вигину стріли.

2. Найбільш оптимальною формою поперечного перетину із сучасних стріл з точки зору мінімізації напружень та деформацій із збереженням найменшої власної металоємності є овалюїдна форма.

3. Використання стріл, генерованих програмою оптимальних з точки зору рівномірності та матеріалоємності, є проблематичним з експлуатаційних та технологічних міркувань. Ці моделі слугують теоретичним концептом телескопічних кранових стріл.

2.3 Структурно-точностний аналіз металургійних кранів з жорстким підвісом вантажу, як передумова створення підйомно-транспортних кранів-роботів

2.3.1 Мета роботи

Визначити діапазон помилок позиціонування мір рухливості(приводів) металургійного кліщового крану і оцінити по цьому параметру можливість його роботи за програмою підйомно-транспортного крану-робота (ПТКР).

2.3.2 Актуальність теми і постановка задач дослідження

Скорочення технологічного циклу виробництва, до певної міри, пов'язане з механізацією і автоматизацією підйомно-транспортних і складських робіт [3, 5]. При здійсненні комплексної автоматизації виробництва слабким місцем все ще залишаються транспортні і перевантажувальні операції. У сучасних виробництвах одним з ефективних засобів автоматизації є роботизація. Розробка і розвиток підйомно-транспортних промислових роботів(ПТПР) відстає від загального розвитку ПР, а їх вантажопідйомності доки обмежені. На ряду з цим існують і успішно виконують функції ПТПР деякі спеціальні технологічні крани, наприклад, крани - штабелювальники, баланс - крани, кліщові, стрипперні, мульдозавалочні, пратцен-крани, контейнерні перевантажувачі і інші. Деякі з них, які оснащені програмним керуванням, забезпечують автоматичне захоплення, утримання і перенесення різноманітних об'єктів, а при необхідності і маніпулювання ними. Структурний, динамічний, позиційно-точностний аналіз маніпуляційних систем таких кранів повинен підтвердити, що принципи їх побудови і технічні характеристики відповідають маніпуляційним системам ПР. Такі крани-маніпулятори мають від 3 до 6 ступенів рухомості і слід довести, що ці крани можуть бути використані в якості базових для створення важких і надважких ПТПР. Це і є основною ціллю даної роботи.

2.3.3 Теоретичне дослідження теми

Розглянемо клас мостових кранів з жорстким підвісом вантажу, які використовуються на багатьох підприємствах в якості основного устаткування для виконання перевантажувально-транспортних робіт. Вони, по суті, є маніпуляційними системами з числом ступенів рухливості три і більше, працюючими в прямокутній і циліндричній системах координат. Розробка способів і засобів програмованого керування цими кранами дозволить перевести їх в клас промислових роботів і виключити присутність людини в небезпечних зонах.

Для дослідження взяли металургійний кліщовий кран з жорстким підвісом вантажу. Цей кран на комбінаті "Запоріжсталь" завантажує зливки стали масою $Q = 20\text{т}$ в колодязні нагрівальні печі, і переміщає нагріті зливки з колодязів на зливковіз, який подає їх на

переміщення ступенів рухливості (рухи приводів крану); m_3g, mg - сили тяжіння, відповідно, третьої ланки МС (колони крану) і вантажу в схваті (зливка в кліщах крану).

Усі переміщення точки М схвата, які забезпечуються приводами ступенів рухливості в реальному кліщовому крані, виконуються з відхиленнями від програмних рухів (з помилками), що впливає на точність позиціонування зливка (т.М) в Декартовій системі координат. На точність позиціонування впливають: помилки відпрацювань узагальнених координат, зазори в сполученнях, знос контактних елементів кінематичних пар, статичні помилки пружних деформацій від вагової дії, динамічні помилки при перехідних процесах спрацювання приводів.

По помилках для кліщового крану був зібраний статистичний матеріал у виробничих умовах і нормативні дані. Вагові і жорсткостні дані кожної ланки МС отримані з проектної документації на кран і шляхом розрахунку.

У загальному вигляді для структурної схеми МС складена функція положення (1) точки М (точка закріплення кернів кліщового крану на зливку).

$$r_M^{(0)} = \begin{pmatrix} [X_e(\alpha\varphi - \cos\alpha \cos\varphi) + Y_e(\varphi \cos\alpha + \alpha \cos\varphi)]\sin(q_4 + \Delta q_4) - \\ [X_e(\alpha \cos\varphi + \varphi \cos\alpha) + Y_e(\cos\alpha \cos\varphi - \alpha\varphi + (\beta + \theta)\cos\varphi)]\sin(q_4 + \Delta q_4) + \\ [Z_e(1 - (\beta + \theta)\cos\alpha) - X_e\alpha(\beta + \theta)]\sin(q_4 + \Delta q_4) - \\ - [X_e(\varphi \cos\alpha + \alpha \cos\varphi) + Y_e(\cos\alpha \cos\varphi + \alpha\varphi)]\cos(q_4 + \Delta q_4) + \\ + [X_e(\alpha\varphi - (\beta + \theta)\cos\varphi - \cos\alpha \cos\varphi) + Y_e(\alpha \cos\varphi + \varphi \cos\alpha)]\cos(q_4 + \Delta q_4) + \\ - Y_e\alpha(\beta + \theta) + X_e[1 - (\beta + \theta)\cos\alpha]\cos(q_4 + \Delta q_4) - \end{pmatrix}$$

$$\left. \begin{aligned} &+ Z_e \gamma (\varphi \cos \alpha + \alpha \cos \varphi) + (q_1 + \Delta q_1) \\ &+ Z_e \cos \varphi (\gamma \cos \alpha - \beta - \theta) - [(H + q_3 + \Delta q_3)(\beta + \theta) + (q_2 + \Delta q_2)] \cos \varphi \\ &- Z_e [1 - \gamma (\beta + \theta) \cos \alpha - H - (q_3 + \Delta q_3)] \end{aligned} \right\} (2.1)$$

де $\Delta q_1, \Delta q_2, \Delta q_3, \Delta q_4$ - помилки відпрацювання узагальнених координат, м, рад;

H - максимальна висота підйому зливка, м;

X_e, Y_e, Z_e - координати ексцентриситету центру тяжіння зливка, відносно т. М, м;

φ, α, k - перекося крану, візка, колони, м, рад;

$\beta + \theta$ - помилки (нормативні відхилення) установки підкранових і підвізкових рейок, у тому числі статичні, м, рад.

Шляхом розкладання функції положення (2.1) в ряд Тейлора і подальшого частинного диференціювання по узагальненим координатам q_i і по помилкам Δq_i отримано вектор - стовпчик помилок позиціонування т.М для кліщового металургійного крану-робота в загальному вигляді. Після підстановки у вектор-стовпчик фактичних і розрахункових параметрів кліщового крану $Q = 20$ т заводу "Запоріжсталь" отримані наступні максимальні значення помилок позиціонування точки схвата М: $\Delta X = 175$ мм; $\Delta Y = 75$ мм; $\Delta Z = 61$ мм.

2.3.4 Висновки і рекомендації

1. Отримані значення помилок цілком задовольняють допускній точності позиціонування металургійних злиwkів, на усіх фазах роботи з ними у пічних відділеннях заводів "Запоріжсталь" і "Дніпрспецсталь".

2. По точності позиціонування кліщові крани можуть бути переведені на програмне керування і виконувати функції підйомно-транспортних роботів-маніпуляторів.

2.4 Дослідження перекосів кранових коліс

2.4.1 Мета роботи

Дослідження способів усунення перекосів кранових коліс та розробка пристрою регулювання коліс.

2.4.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

При пересуванні мостових кранів по коліям в реальних виробничих умовах відбувається порушення прямолінійної траєкторії руху крана[2, 4].

На прямолінійність траєкторії руху мостових кранів впливає точність підкранової колії та точність роботи ходових коліс, що супроводжується коливанням його центру відносно ідеально прямої траєкторії. Все це призводить до виникнення відчутних бокових сил, що діють на колеса збоку підкранових рейок. Бокові сили викликають знос коліс, головок підкранових рейок, діють на металоконструкцію крана, особливо, на кінцеві балки. Однією з головних причин перекосів кранів є неточність встановлення ходових коліс крана, а саме наявність перекосів та розвалів коліс. Знос бокових поверхонь головок рейок у 70% випадків є причиною їх заміни, а 90% коліс замінюють по причині зносу реборд. Всі заміни є причиною простоїв та втрат на виробництві, крім того, довговічність коліс при встановленні з перекосами вище нормативних знижується в 2...4 рази. Таким чином, усунення перекосів та стабілізація руху мостових кранів є актуальною задачею, яка в світовій практиці вирішується шляхом:

- підвищення якості монтажу кранової колії;
- підвищення точності контролю встановлення ходових коліс за рахунок удосконалення механічних та оптичних засобів;
- підвищення точності встановлення ходових коліс за рахунок забезпечення можливості регулювання їх положення;
- підвищення стабілізації руху за рахунок самовирівнювання ходових частин;
- синхронізація руху опор крана конструктивними методами або за рахунок слідкуючих електронних систем;

- використання обмежувачів перекосів різних конструкцій, заспокоювачів коливань кранів та демпферів;
- використання одноребордних та безребордних коліс, гумових коліс, низько модульних підкладок під рейки, підвищення точності виготовлення та підбору ходової частини та ін.

2.4.3 Дослідження теми роботи

Прямолінійність, або відповідність ідеальному руху, можна оцінити величинами відхилення геометричного центра моста від вісі пересування ΔX , а також кутом закручування моста φ відносно цього ж центра в кожну мить руху (рис. 2.6).

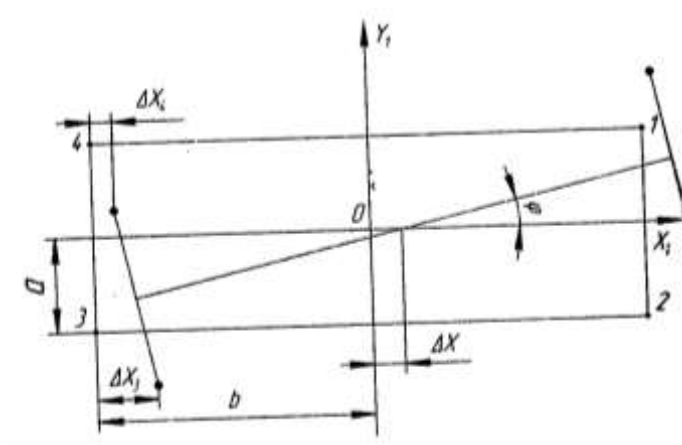


Рисунок 2.6 – Схема відхилень мостового крана від ідеальної траєкторії в процесі пересування

Дослідження по оцінці впливу точності встановлення ходових коліс та їх форми на стабілізацію траєкторії руху мостових кранів і на бокові зусилля, що діють на реборди коліс та на кінцеві балки металоконструкцій проведені на мостовому спеціальному крані заводу «Дніпроспецсталь» вантажопідйомністю $Q = 20/5\text{т}$, прогону $L = 16,5\text{м}$. Для цього була запропонована конструкція пристрою регулювання перекосів кранових коліс (рис. 2.7).

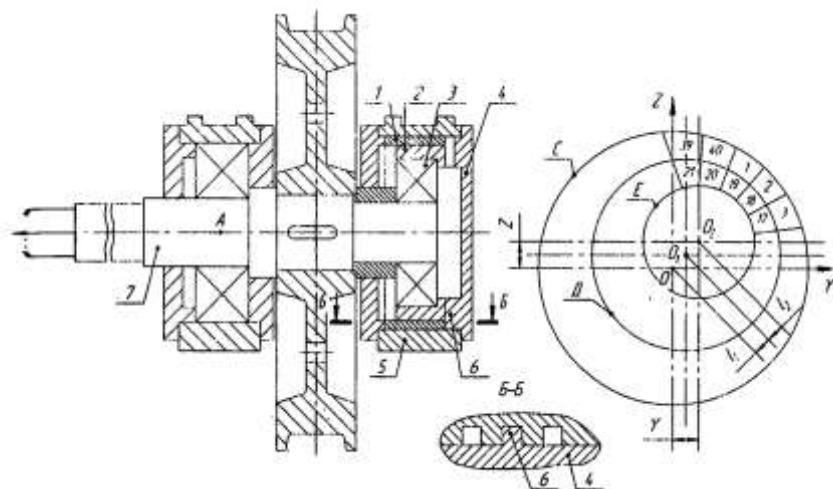


Рисунок 2.7 – Пристрій регулювання перекосів кранових ходових коліс

Підшипник 3, який є другою опорою вала 7 ходового колеса, монтується в спряжених ексцентричних втулках 1 (зовнішня) та 2 (внутрішня), які розміщені в посадочному отворі букси 5. Втулки мають відповідний ексцентриситет e_1 та e_2 . На торцях втулок нарізано однакова кількість рівномірно розміщених радіальних пазів з маркуванням. Кришка 4 має зуб 6, який входить в пази втулок та фіксує їх одну відносно іншої та відносно букси. Шляхом обертання

втулок можна зміщати центр вала колеса в будь яку точку поля, що визначається ексцентриситетами втулок. При цьому вал разом з колесом розвертається навколо точки A в двох координатах, що призводить до зміни перекоосу та розвалу ходового колеса.

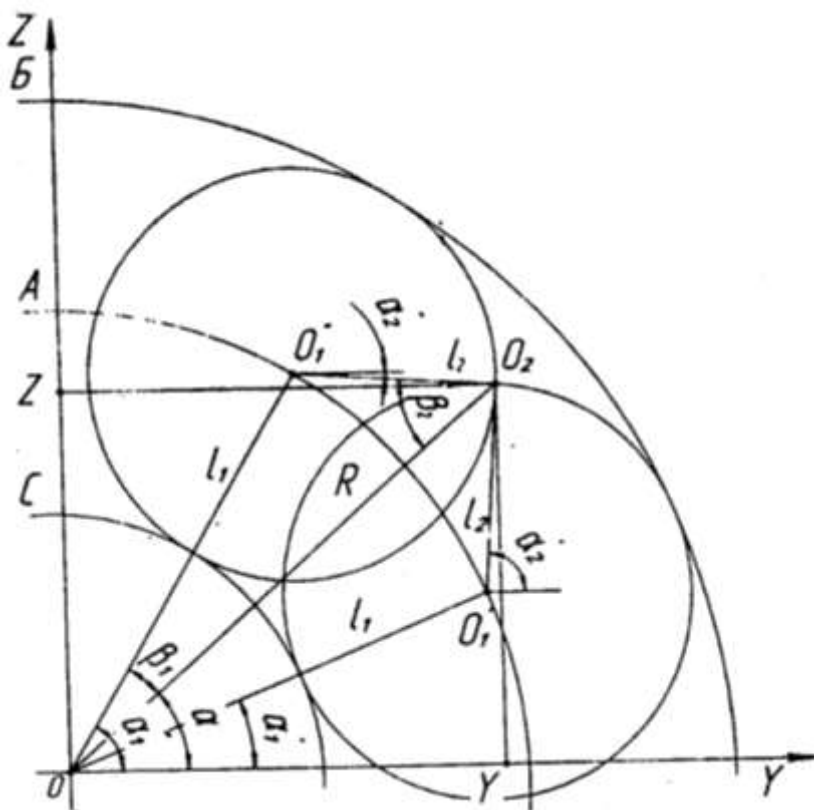


Рисунок 2.8 – Схема визначення координат центра колеса

Згідно схеми (рис.2.8), у випадку, коли $e_1 = e_2 = e$ положення центра колеса O_2 з координатами Y, Z можна досягти розвертанням двох ексцентричних втулок на кути

$$\alpha_{1,2} = \operatorname{arctg} \frac{Z}{Y} \pm \arccos \frac{\sqrt{Y^2 + Z^2}}{2e}. \quad (2.2)$$

В умовах реального експерименту заводу «Дніпроспецсталь» втулки мали по 40 пахів з однаковим ексцентриситетом $e = 2,5 \text{ мм}$. З метою спрощення використання запропонованого методу регулювання ходових коліс була розроблена номограма (рис. 2.9) по рівнянню (2.2).

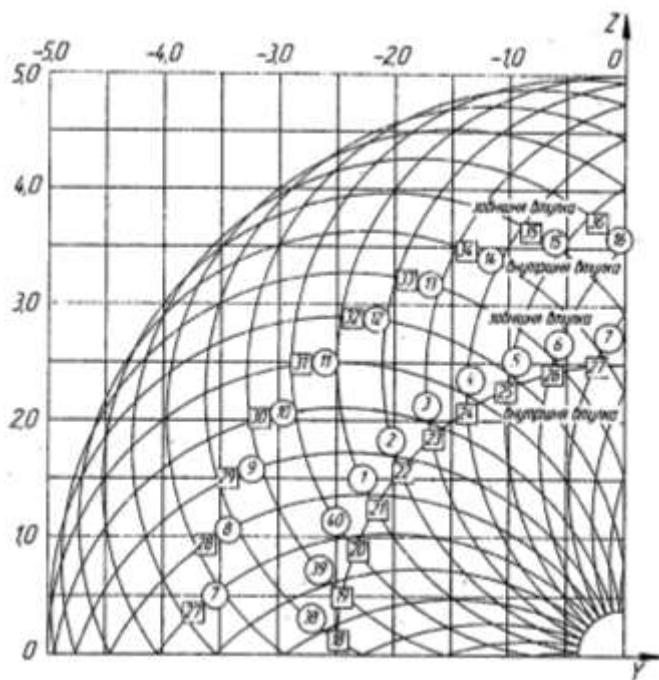


Рисунок 2.9 – $\frac{1}{4}$ номограми для регулювання перекосу та розвалу ходових коліс

2.4.4 Висновки та рекомендації

1. На стабільність траєкторії руху мостових кранів значно впливають точність монтажу та регулювання ходових коліс і їх форма. При порушенні стабільності траєкторії діють значні бокові сили збоку рейок на реборди коліс.

2. Розроблено метод та пристрій для регулювання перекосів та розвалів коліс за допомогою двох ексцентричних втулок, що монтуються в буксових вузлах.

2.5 Дослідження низьколегованих сталей на втому

2.5.1 Мета роботи

Уточнення даних про витривалість низьколегованих сталей при асиметричних циклах, особливо при середніх напруженнях стиску.

2.5.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

Відомо, що основні дані про опір конструкційних матеріалів втомі отримано експериментальним шляхом на машинах симетричного згинання з обертанням, у той час як елементи машин найчастіше працюють з іншими коефіцієнтами асиметрії циклу при середніх напруженнях як розтягання, так і стискання. Через обмеженість експериментальних даних про витривалість конструкційних матеріалів при асиметричних циклах, особливо при середніх напруженнях стиску, конструктори змушені використовувати результати експериментальних робіт при симетричному згинанні з наступним перерахуванням їх на асиметричні цикли за допомогою аналітичних залежностей, що не завжди адекватно і призводить до недостатньої міцності виробів, або завищеної їх матеріалоемності [5].

Тому апроксимація кривих діаграми граничних станів амплітуд низьколегованих сталей є актуальною.

2.5.3 Дослідження теми роботи

Дані про витривалість конструкційних матеріалів при асиметричних навантаженнях даються в літературних джерелах та довідниках.

Аналіз кривих за формулами Гурмана, Сміта та Зодерьєрга показує, що величини σ_a є заниженими при середніх напруженнях розтягання і значно завищені при стискаючих σ_m . Крива Одінга дає занижені оцінки σ_a як при розтягуванні, так і стискаючих середніх напруженнях циклу. Парабола Гербера завищує оцінки граничних амплітуд при $\sigma_m > 0$ і значно їх занижує при $\sigma_m < 0$.

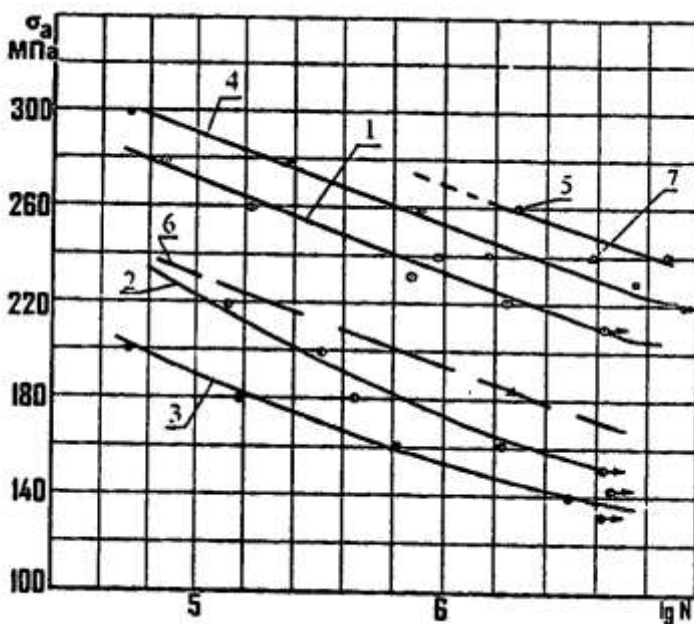
Параболи Гербера і Одінга передбачають однаковий опір втомі і стисканні, що, як правило, не підтверджується сучасним досвідом. У більшості металів при збільшенні середніх напружень стиску граничні амплітуди спочатку зростають, приблизно до границі текучості, а далі значення σ_a мають тенденцію до зменшення.

Ймовірно, слід вважати, що зі збільшенням стискаючих та зменшенням розтягуючих напружень циклу змінюються і умови втомного руйнування. Причому, у випадку значного середнього напруження стиску з малою розтягуючою складовою ці умови будуть залежати, в першу чергу, від властивостей міцності матеріалу при стиску. Останнє доцільно враховувати при складанні діаграми граничних амплітуд. Жодна з розглянутих формул не враховує механічних характеристик конструкційних матеріалів при стиску, що обмежує їх адекватність.

Втомні випробування проведені на пульсаторі кафедри «Деталі машин і ПТМ», в Запорізькому національному технічному університеті на зразках сталі 09Г2С, яка використовується для виробництва металоконструкцій кранів заводом «Запоріжкран». Випробування зразків типу III із листа промислової поставки товщиною 5 мм у відповідності до ISO 1099:2017 виконано на установці осьового циклічного навантаження.

У випробуваннях використовувались зразки з ефективним коефіцієнтом концентрації напружень $K_\sigma = 1$. Оскільки більш зручним для конструкторів є представлення результатів досліджень на втому у вигляді діаграми граничних амплітуд або діаграм граничних напружень, випробування виконанні при середніх напруженнях циклу 0, +200, +300, -100, -150 МПа до довговічності 5×10^6 циклів.

Результати експерименту подано на рис. 2.10 у вигляді кривих втоми. Із рисунку видно, що збільшення розтягуючи середніх напружень циклу стимулює зменшення σ_a , при чому помічається відхилення кривих втоми від прямолінійності. При збільшенні σ_m стискування спостерігається спочатку зростання σ_a , яке потім затухає при подальшому збільшенні стискаючих σ_m .



1 – при $\sigma_m = 0$; 2 – при $\sigma_m = +200\text{МПа}$; 3 – при $\sigma_m = +300\text{МПа}$;
 4 – при $\sigma_m = -100\text{МПа}$; 5 – при $\sigma_m = -150\text{МПа}$; 6 – апріорна крива при
 $\sigma_m = 0$ низьколегованої сталі $\sigma_b = 520\text{МПа}$; 7 – при $\sigma_m = -200\text{МПа}$

Рисунок 2.10 – Криві втоми сталі 09Г2С

2.5.4 Висновки та рекомендації

Результати роботи можуть бути корисними конструкторам для більш ефективного та економічного використання службових характеристик конструкційних матеріалів, а також дослідникам з метою економії затрат при випробуваннях на опір втомі.

2.6 Дослідження настінно-стрілового крана-трансформера із змінною геометрією та структурою

2.6.1 Мета роботи

Розробка та дослідження сучасного настінно-стрілового крану, який би відповідав критеріям трансформерації, модульності, гнучкості структури та змінності геометрії.

2.6.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

Одним із основних завдань розвитку сучасного господарства є автоматизація та комплексна механізація виробничих процесів у всіх галузях виробництва.

Особливе значення має питання механізації трудомістких та важких навантажувально-розвантажувальних і монтажних робіт, де особливо важливим є усунення ручної праці як на основних, так і на допоміжних операціях. У цьому плані стрілові крани мають першочергове значення як незамінний механізм при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт [3, 6].

Сучасні виробництва з високими технологіями потребують обладнання з гнучкими засобами переналагодження, налаштування та перепрограмування. На одній і тій же ділянці цеху може виникнути потреба у вантажопідйомних засобах з різною геометричною конфігурацією та з різною несучою здатністю. Наявність у цеху вантажопідйомного крану, який відповідає цим вимогам дозволить значно розширити технологічні можливості виробництва та більш раціонально використовувати робочий простір цеху. Крім того, наявність такого вантажопідйомного пристрою дозволить швидко переналагоджувати виробничий процес для виконання різних

операцій з різними вантажами. Швидке переналагодження, у свою чергу, зменшує час технологічних простоїв, а це забезпечує збільшення продуктивності праці.

У цю концепцію добре кореспондуються вантажопідйомні системи зі змінною структурою та геометрією.

Задачами роботи є:

- розробити концепцію і структуру крана-трансформера;
- дослідити вплив нової конструкції насти́нного крана на точність позиціонування робочого органу;
- зробити висновки про вплив точності позиціонування на продуктивність роботи крана;
- розробити математичну модель крана із змінною геометрією несучої конструкції за допомогою програми Solidworks;
- за допомогою запропонованої моделі проаналізувати вантажопідйомність крана у різних точках зони обслуговування та порівняти її з вантажопідйомністю одно-стрілового насти́нного крана;
- підібрати найбільш раціональний перетин стріли насти́нного крана;
- розробити приводи механізмів нового крана насти́нного зі змінною геометрією несучої конструкції.

2.6.3 Розробка та дослідження структурної схеми крана-трансформера

Кран насти́нний зі змінною геометрією несучої конструкції, який досліджується у даній роботі, раніше у літературі не розглядався.

В даній роботі вперше запропонована конструкція консольного насти́нного крана-трансформера, тобто крана, який може працювати у двох зовсім різних режимах з різними технічними характеристиками і зонами обслуговування. Пропонується конструкція насти́нного крана зі змінною геометрією несучої конструкції.

Нова конструкція складається з двох консольних балок, шарнірно закріплених на стіні, кожна з окремим приводом обертання. Балки можуть працювати самостійно як два класичні насти́нно-поворотні крани, тобто два окремих консольних насти́нно-поворотних

крана. В цьому випадку несуча здатність кожної балки залежить від вильоту вантажу.

В іншому режимі дві балки трансформуються в трикутну консольну несучу конструкцію, геометрія якої змінюється за рахунок узгодження роботи приводів повертання кожної балки та оригінального приводу пересування об'єднаного візка по двом балкам одночасно.

Вперше розроблена конструкція настінного крана, яка дозволяє отримати високу точність позиціонування робочого органу завдяки збільшенню статичної і динамічної жорсткості металоконструкції.

У режимі роботи крана, коли він трансформується у трикутнику консольну несучу конструкцію, спостерігається ряд позитивних відмінностей від існуючих конструкцій консольних кранів. По-перше, дві об'єднані стріли утворюють потужну несучу конструкцію, яка може витримувати великі навантаження при підйомі-опусканні вантажів великої маси. По-друге, максимально можливі прогини від дії корисного навантаження для такої конструкції будуть нижчими. Отже, спостерігається підвищення статичної жорсткості конструкції. По-третє, період власних коливань системи знижується, а час їх затухання зменшується. Це свідчить про підвищення динамічної жорсткості конструкції. Разом підвищення статичної та динамічної жорсткості вантажопідйомної системи зумовлюють значне підвищення точності позиціонування крана. Точність позиціонування крана – одна з найважливіших його характеристик, яка у значній мірі визначає можливість його використання для автоматизації конкретного виробничого процесу та область використання. Досягнення високої точності позиціонування дозволяє підвищити продуктивність роботи крана, тому що час необхідний для захоплення вантажу вантажозахоплювальним органом зменшується.

Аналітичні дослідження виконано згідно розрахункової схеми (рис. 2.11).

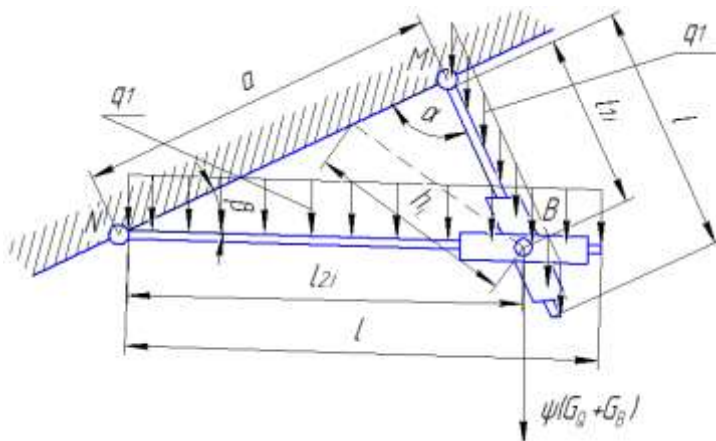


Рисунок 2.11 – Розрахункова схема крана-трансформера

При дослідженнях визначилися робочі зони та несуча здатність крана з різною структурою в кожній точці робочої зони роботи крана за індивідуальною схемою та при сумісній роботі. Робочі зони та максимуми несучої здатності кожної схеми роботи крана-трансформера приведені на рис. 2.12 (а, б).

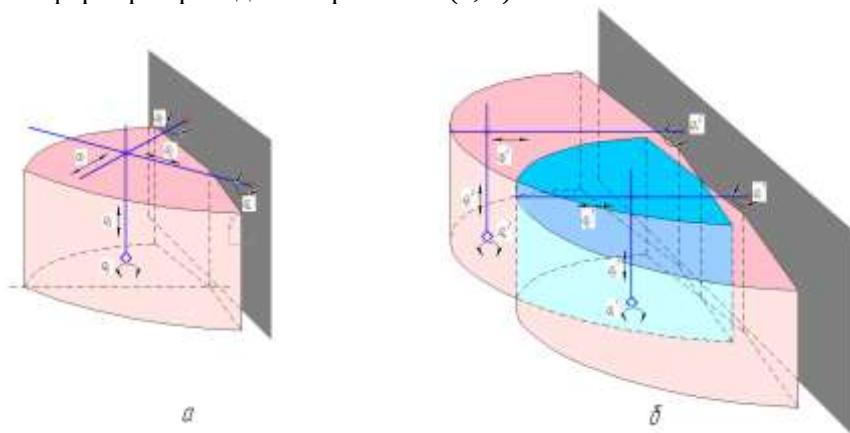


Рисунок 2.12 – Залежність робочих зон та вантажопідйомностей від вильоту для крана-трансформера у вигляді трикутної консольної конструкції (а) та у режимі одно стрілового крану (б)

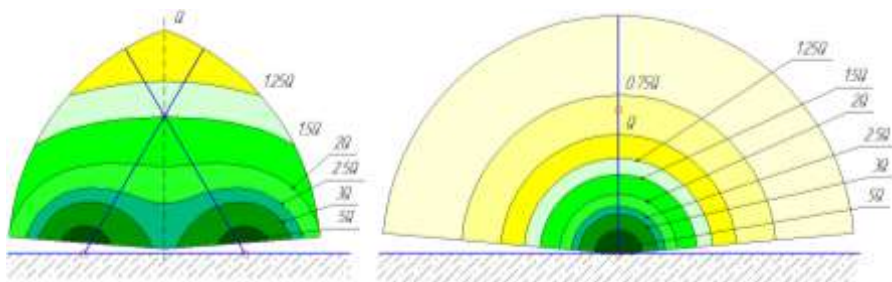


Рисунок 2.12, аркуш 2

2.6.4 Висновки та рекомендації

Запропонований підхід до синтезу та проектування несучих кранових конструкцій дозволяє досить гнучко варіювати несучу здатність, розширити функціональні можливості та робочі зони настінних вантажопідйомних кранів, що більш повно відповідає технологічним вимогам сучасних виробництв.

2.7 Дослідження несучої здатності головних кранових балок з гофрованої листової сталі

2.7.1 Мета роботи

Дослідити напружено-деформований стан стінки одностінчастої балки мостового крану, виконаної з гофрованого листа, та обґрунтувати несучу здатність таких балок.

2.7.2 Актуальність теми та постановка задач дослідження

В головних балках двотаврових листових та коробчастих, як основних несучих елементів багатьох типів кранів (мостових, козлових, однобалкових, кран-балок та ін.) несуча здатність у великій мірі визначається здатністю стінок не втрачати стійкість при дії на балку згинаючого моменту, перерізуючих сил та місцевих тисків підвізкових ходових коліс. При дії моменту згину в стінці може виникнути поздовжня хвиля втрати стійкості запобігають якій шляхом

встановлення на висоті $0,25 H$ від верхнього поясу поздовжнього ребра жорсткості. Для важких балок застосовують декілька поздовжніх ребер. Згідно євронорм у важких балках поздовжні ребра встановлюють по всій висоті стінки з повним кроком [5, 7].

При дії перерізуючих сил в стінці балки виникає діагональна хвиля втрати місцевої стійкості, запобігають якій встановленням поперечних довгих діафрагм по всій довжині балки з кроком $a = (1 \dots 1,5)H$. Від місцевого тиску підвізкових коліс в стінці виникає місцеве випучування, запобігають якому встановленням коротких поперечних діафрагм-ребер з кроком $a_1 = 0,25a$.

Конструктивні заходи по усуненню місцевої втрати стійкості стінок головних балок для мостових кранів призводить до великої кількості технологічних операцій, особливо зварювальних. Все це здорожчує виготовлення балки, а велика кількість зварювальних швів до підвищеної концентрації напружень, що суттєво знижує втомну довговічність металоконструкції.

Розробка та дослідження конструктивних засобів, які б дозволили зменшити кількість діафрагм, ребер, зварних швів без зниження несучої здатності головних балок є актуальною науковою темою.

Задачами досліджень є:

- 1) розробка конструктивного засобу, який би дозволив об'єднати функції довгих поперечних, коротких поперечних діафрагм та поздовжніх ребер жорсткості в одне без зниження місцевої стійкості стінок головних балок;
- 2) дослідити напружено-деформований стан стінок при дії на головну балку нової конструкції комплексу силових факторів.

2.7.3 Дослідження теми роботи

Способом забезпечити місцеву стійкість і вантажопідйомність відповідну двостінчастій та простоту і технологічність виготовлення одностінчастої конструкції є виготовлення стінки головної балки з гофрованої сталі (гофро-листа).

Наукова новизна роботи полягає в тому, що запропоновано використання гофрованих стінок головних балок (рис. 2.13), а також розроблено нові критерії оцінки окремих профілів стінки в умовах експлуатації вантажопідйомного крана, що дозволяє вибрати оптимальний профіль без використання допоміжних елементів.

Практична цінність результатів роботи полягає в тому, що використання гофрованого профілю стінки головної балки мостового крану дозволить суттєво збільшити місцеву стійкість і отже позбавити необхідності використання діафрагм. Це, в свою чергу, зменшує матеріалоемність та підвищує технологічність виготовлення балки при збереженні її несучої здатності. Відсутність діафрагм обумовлює меншу кількість зварних швів, що збільшує надійність конструкції.

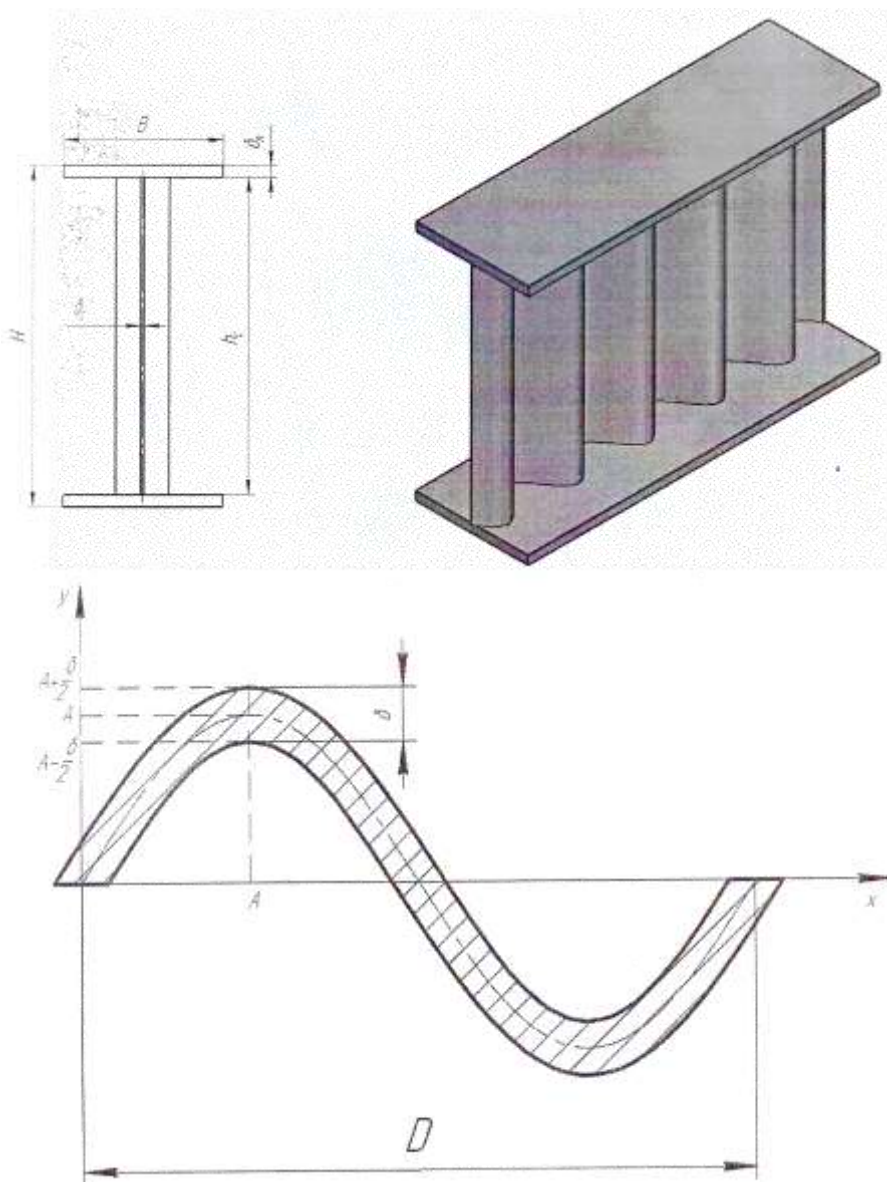


Рисунок 2.13 – Схема балки з гофро-стілкою

Результати дослідження напружено-деформованого стану гофрованої стінки головної балки від дії комплексу силових факторів, а також на предмет втрати стійкості, що є основним фактором несучої здатності балки, виконані в програмному продукті SolidWorks (рис. 2.14).

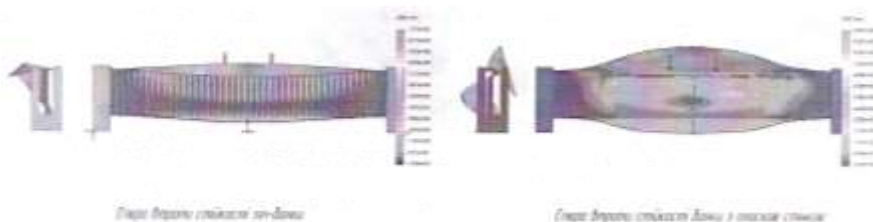


Рисунок 2.14 – Результати дослідження втрати стійкості плоских та гофрованих стінок балок

2.7.4 Висновки та рекомендації

1. Дослідження довели, що при дії перерізуючих сил, тобто ближче до опор балки, гофро-балка може замінити двостінчасту балку і на стійкість працює задовільно. При дії згинаючого моменту, тобто всередині прольоту, стійкість гофро-стінки менше ніж у одностінчастої плоскої балки. Для забезпечення стійкості гофро-стінки у цьому випадку потребують додаткових конструктивних заходів.

2. Використання гофро-стінок дозволяє знизити металоємність головних балок і є альтернативою, яка поєднує в собі малу власну вагу, як у одностінчастої та високу несучу здатність, як у двостінчастої.

Перелік джерел посилання

1. Мартовицький Л. М., Глушко В. І. Крани спеціальні : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2023. 396 с.
2. Технологічні основи машинобудування : навч. посіб. для студ. спец. 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А. В. Фесенко. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. 421 с.
3. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання : ДСТУ 3008:2015. Чинний від 2017-07-01. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 32 с.
4. Слободян Н. М., Пономарчук І. А. Вантажопідйомні машини : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2020. 87 с.
5. Ковалевський С. Г., Хачатурян С. Л., Щербак О. В. Машини для земляних робіт. Ч. 1 : навч. посіб. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 61 с.
6. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Київ, 2018. 214 с.
7. Спеціальна інформаційна система УКРНОІВІ (CIC) / Укр. нац. офіс інтелектуальної власності та інновацій : вебсайт. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/> (дата звернення: 26.06.2026).