

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування інституту, факультету)
Деталі машин та МТМ.
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

Магістр.
(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження функціональності
настінного крана зі змінною геометрією

Виконав: студент(ка) 2 курсу, групи М-312м

Спеціальності 133 Галузева машинобуд.
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Мідемо-транспортні машини та ме
Гравцов Віталій Віталійович.
(прізвище та ініціали)

Керівник Мартовецький П.М.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Фролов Р.О. Фролов
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Деталі машин та ПТМ
 Ступінь вищої освіти магістр
 Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
 (код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Підприємство транспортних машин та механізмів
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« » 20 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Кравцов Віталій Віталійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження функціональності кастомного крана зі зміною геометрії

керівник проєкту (роботи) Мартовичук П.М. к.т.н. доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « » 20 року №

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Стационарний консольний кран зі зміною геометрії, металокопиркування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз існуючих конструкцій консолей крана.

2. Дослідження функціональних можливостей зміної геометрії.

3. Розрахунки металокопиркування

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Робота зони масштабу.

2. Зона вантажу підвішеної

у залежності від вилету стріли крана траєкторіями.

3. Запропонована конструкція різьби.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	Мартовичук Л.М.		
2	Мартовичук Л.М.		
3	Мартовичук Л.М.		
4	Мартовичук Л.М.		
5	Мартовичук Л.М.		

7. Дата видачі завдання « ____ » ____ 20 ____ року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

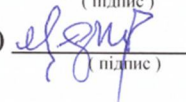
№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Аналіз існуючих конструкцій кранів		
2	Визначення функціональних можливостей змінної геометрії		
3	Розрахунки металоконструкцій		

Студент


(підпис)

Кравцов В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)


(підпис)

Мартовичук Л.М.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 78 с., таблиці, 35 рисунків, 9 джерел, 5 додатків.

Об'єкт дослідження – насті́нний кран зі змінною геометрією несучої конструкції.

Мета проекту – розробка концепції, структури та дослідження крану настінного зі змінною геометрією несучої конструкції, порівняння основних характеристик цього крану з характеристиками існуючих консольних настінних одно-стрілових кранів. Зробити висновок про можливість застосування даного крану на виробництві.

Метод дослідження – розрахунково-аналітичний, з використанням програм Microsoft Word, Solidworks, Autodesk Inventor та програмного комплексу ЛИРА 9.4.

У роботі було проведено дослідження настінного крану зі змінною геометрією несучої конструкції. Були розраховані геометричні параметри крану, проаналізована несуча здатність нової конструкції у порівнянні з вже існуючими конструкціями настінних консольних кранів. Були змодельовані та досліджені зони обслуговування крану для двох режимів його роботи – в режимі трикутної несучої конструкції та в режимі двох окремих настінних консольних кранів.

Під час виконання роботи було розроблено конструкцію візка з оригінальним механізмом пересування - об'єднаного візка що рухається по двом балкам одночасно.

У роботі було підібрано найраціональніший перетин стріли настінного крану шляхом порівняння п'яти стріл різного профілю. Проведене порівняння прогинів стріл і напружень, які виникають у перетинах.

Ключові слова: НАПРУЖЕННЯ, МОМЕНТ, СИЛА, ЗГИНАННЯ, СТРИЛА, БАЛКА, МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЯ, ВІЗОК, МЕХАНІЗМ, ПРОГИН.

ЗМІСТ

Завдання.....	2
Реферат	4
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	6
Вступ.....	7
1 Аналіз існуючих конструкцій консольних кранів.....	10
2 Дослідження геометрії крана настінного зі змінною геометрією несучої конструкції.....	17
2.1 Геометричні параметри крана настінного зі змінною геометрією несучої конструкції.....	17
2.2 Зона обслуговування настінного крану зі змінною геометрією несучої конструкції та її аналіз.....	19
3 Розрахунки металоконструкції крану.....	21
3.1 Розрахунок несучої здатності металоконструкції крана.....	21
3.2 Розрахунок несучої здатності металоконструкції крана	28
3.3 Вибір оптимального перетину кранових балок.....	31
4 Конструювання візка.....	46
5 Основні заходи з охорони праці.....	51
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	51
5.2 Заходи із забезпечення техніки безпеки.....	52
5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	58
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	64
Висновки	66
Перелік використаних джерел.....	68
Додаток А	69
Додаток Б	71
Додаток В	73
Додаток Г	75
Додаток Д	77

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

- a – відстань між шарнірами кріплення стріл до стіни, $м$
- h_i – відстань від стінки до точки зони обслуговування, $м$
- g – прискорення вільного падіння, $м/с^2$
- Q_i – вантажопідйомність стріли, $кг$
- G_I – сила власної ваги металоконструкції крану, $Н$
- G_Q - сила ваги вантажу, $Н$
- G_6 - сила ваги візка, $Н$
- N_p - Горизонтальна проекція сили ваги вантажу, $Н$
- F_y - Сила інерції, що виникає при гальмуванні повороту стріли, $Н$
- F – площа поперечного перерізу, $м^2$
- I_x - моменти інерції перерізів відносно осі $X-X$, $м^4$
- I_y - моменти інерції перерізів відносно осі $Y-Y$, $м^4$
- W_x - моменти опору для перерізів відносно осі $Y-Y$, $м^3$
- W_y - моменти опору для перерізів відносно осі $X-X$, $м^3$
- l – довжина виліта стріли, $м$
- α, β – кути повороту стріл відносно стіни, $град$
- V – швидкість руху матеріальної точки, $м/с$
- $W^{(k)}$ – кінетична енергія матеріальної точки, $Дж$
- σ - приведені напруження, $МПа$
- E - модуль повздовжньої пружності матеріалу стрижня (модуль Юнга)
- δ – прогин кінця стріли, $м$
- q – розподілене навантаження, $Н/м$
- M – момент сили, $Н\cdot м$

ВСТУП

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 покращення 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.

Сучасні виробництва з високими технологіями потребують обладнання з гнучкими засобами переналагодження, настроювання 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, зменшую час технологічних простоїв, а це забезпечує збільшення продуктивності праці.

У цю концепцію добре вписуються вантажопідйомні системи зі змінною структурою та геометрією. Пропонується конструкція настінного крана зі змінною геометрією несучої конструкції.

У режимі роботи крану, коли він трансформується у трикутну консольну несучу конструкцію, спостерігається ряд позитивних відмінностей від існуючих конструкцій консольних кранів. По-перше, дві стріли об'єднані у одну утворюють потужну несучу конструкцію, яка може витримувати великі навантаження при підйомі-опусканні вантажів набагато більшої 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 крану. Точність позиціонування крану – 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 крану, тому що час необхідний для захоплення вантажу вантажозахоплювальним органом зменшується.

Метою роботи було розробити сучасну вантажопідйомну машину, котра б відповідала сучасним критеріям проектування – перетворюваємість, модульність, енергозбереження та розширена функціональність.

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.

Задачами роботи є:

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

- розробити приводи механізмів нового крана настінного зі змінною геометрією несучої конструкції.

В даній роботі вперше запропонована конструкція консольного настінного крана-трансформера, тобто крана, який може працювати у двох зовсім різних режимах з різними технічними характеристиками і зонами обслуговування. Пропонується конструкція настінного 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 настінно-поворотні крани, тобто два окремих консольних настінно-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 крану, яка дозволяє отримати високу точність позиціонування робочого органу завдяки збільшенню статичної і динамічної жорсткості металоконструкції.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КОНСОЛЬНИХ КРАНІВ

Кран настінний зі змінною геометрією несучої конструкції, який досліджується у даній роботі, раніше у літературі не розглядався. Але в загалом консольні крани інших конструкцій досить широко висвітлені у літературі. Професор, доктор технічних наук А.И. Дукельський у своїй книзі [1] зазначає, що консольні крани виконуються стаціонарними на колоні, настінними - стаціонарними і пересувними. Вони використовуються переважним чином у цехах машинобудівельних заводів для обслуговування окремих агрегатів (стаціонарні крани) і для розвантаження роботи мостових кранів (настінно-пересувні крани).

Кулькова Н.Н. у книзі [2] описує консольні стаціонарні електричні крани (ГОСТ 19811-82). Вони випускаються вантажопідйомністю від 0,125 до 3,2 т і з вильотом до 6,3 м. Такі крани оснащені електричною самохідною таллю з гальмом на механізмі пересування (для запобігання самовільного переміщення по стрілі) та електричним механізмом повороту консолі. Стріли виконують із двотаврових балок, які при необхідності підсилюють. Швидкість кранів такого типу: підйому вантажу - 0,13 м/с; пересування талі - 0,33 м/с.

Розрізняють дві принципово різні схеми механізмів пересування візків по стрілам консольних кранів [3]. Перша схема – весь механізм розташовано безпосередньо на об'єкті, що переміщується. Ходове колесо електричної самохідної талі рухається по двотавровій балці крану. Колесо через передачу з'єднано з двигуном та гальмом. Недолік цієї схеми – зниження вантажопідйомності крану через велику масу візка.

Друга схема – механізм розташований окремо від об'єкту, що переміщується та з'єднаний з ним канатом. Канат перекинутий через нерухомий блок та намотується на барабан (кабестан). Через передачу барабан з'єднано з двигуном та гальмом. Завдяки розміщенню механізмів підйому та механізмів пересування окремо від візка різко скорочуються його маса і габаритні розміри. Недоліком даної схеми є підвищений знос гнучкого елемента механізму підйому.

У даній роботі проводиться детальне дослідження металоконструкцій кранів. Питання розрахунку металоконструкцій висвітлено у книзі П.Є. Богуславського [4]. У книзі наведені теоретичні основи інженерних методів силового розрахунку та розрахунку на міцність металоконструкцій вантажопідійомних машин; принципи конструювання окремих елементів; основні положення та принципи вибору раціональних схем та просторового компонування комплексу металоконструкцій вантажопідійомних машин. Крім того, у книзі розміщені довідникові матеріали, які необхідні для проектування. Методики розрахунку, запропоновані автором цієї книги, застосовані для дослідження несучої здатності, прогинів та коливань металоконструкції настінного крану зі змінною геометрією несучої конструкції.

По проведеному літературному огляду можна зробити загальний висновок що кран консольний – це кран стрілового типу, вантажозахоплювальний пристрій якого підвішений до жорстко закріпленої консолі (стрілі) або до візку, який переміщується по консолі (стрілі).

Консольні крани можуть бути:

- стаціонарними – закріпленими на фундаменті або іншій нерухомій основі (настінними (рисунки 1.1) або на колоні (рисунки 1.2));
- пересувними – які мають можливість пересуватися під час роботи (настінними) (рисунки 1.3).

Кран консольний на колоні – кран консольний, який має можливість обертатися на колоні, основа якої прикріплена до фундаменту, або прикріплений до колони, яка має можливість обертатися у підп'ятнику, розміщеному у фундаменті.

Кран настінний – кран стаціонарний, який прикріплено до стіни або який рухається по надземній крановій колії, закріпленій на стіні або несучій конструкції.

- За ступенем повороту стріли консольного крану відносно його опорної частини розрізняють неповоротні (які не мають можливості обертання консолі), повноповоротні (з кутом повороту консолі на 360°) і неповноповоротні консольні крани (з кутом повороту консолі менше 360°).

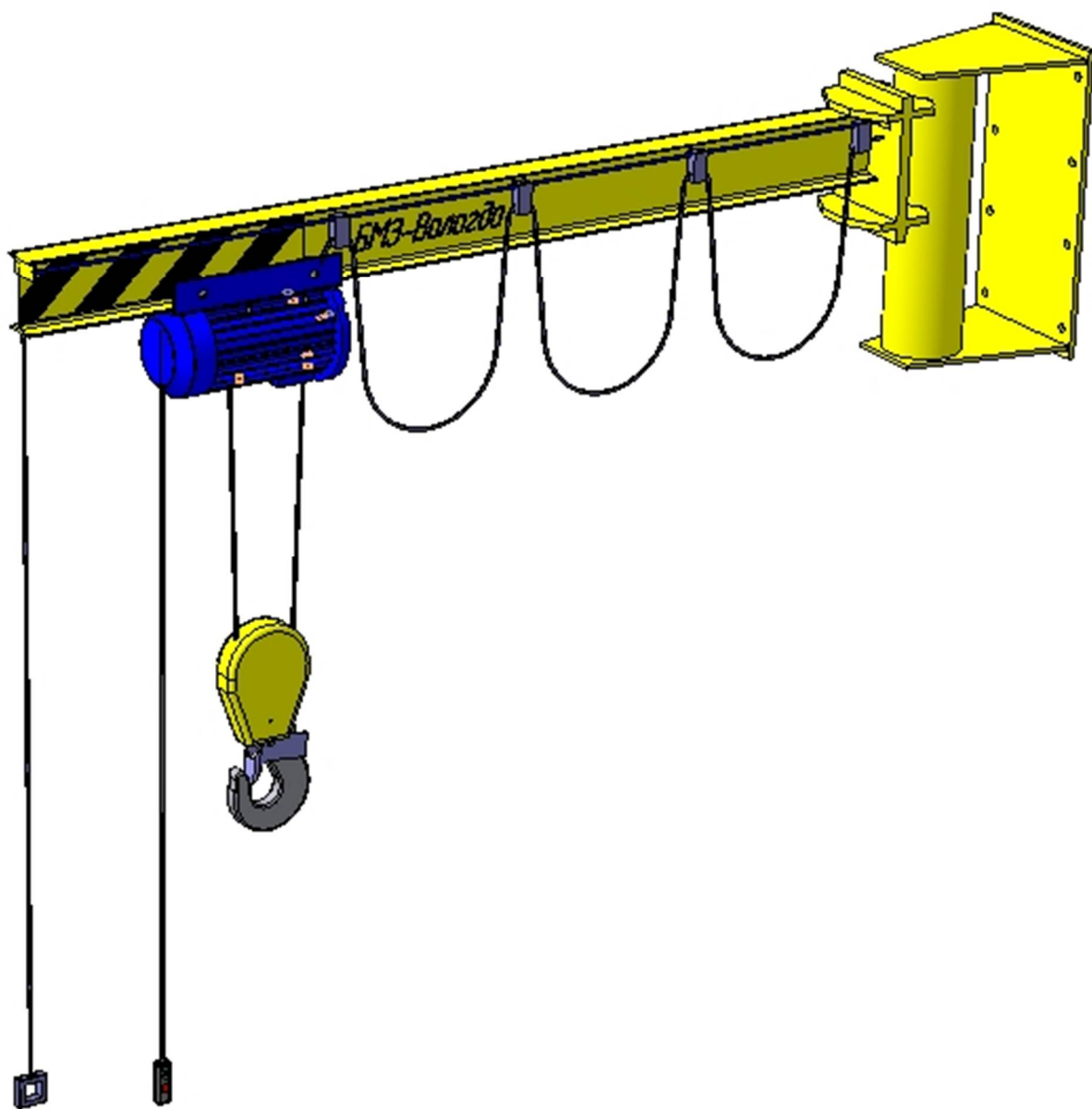


Рисунок 1.1 – Стационарний настінний кран

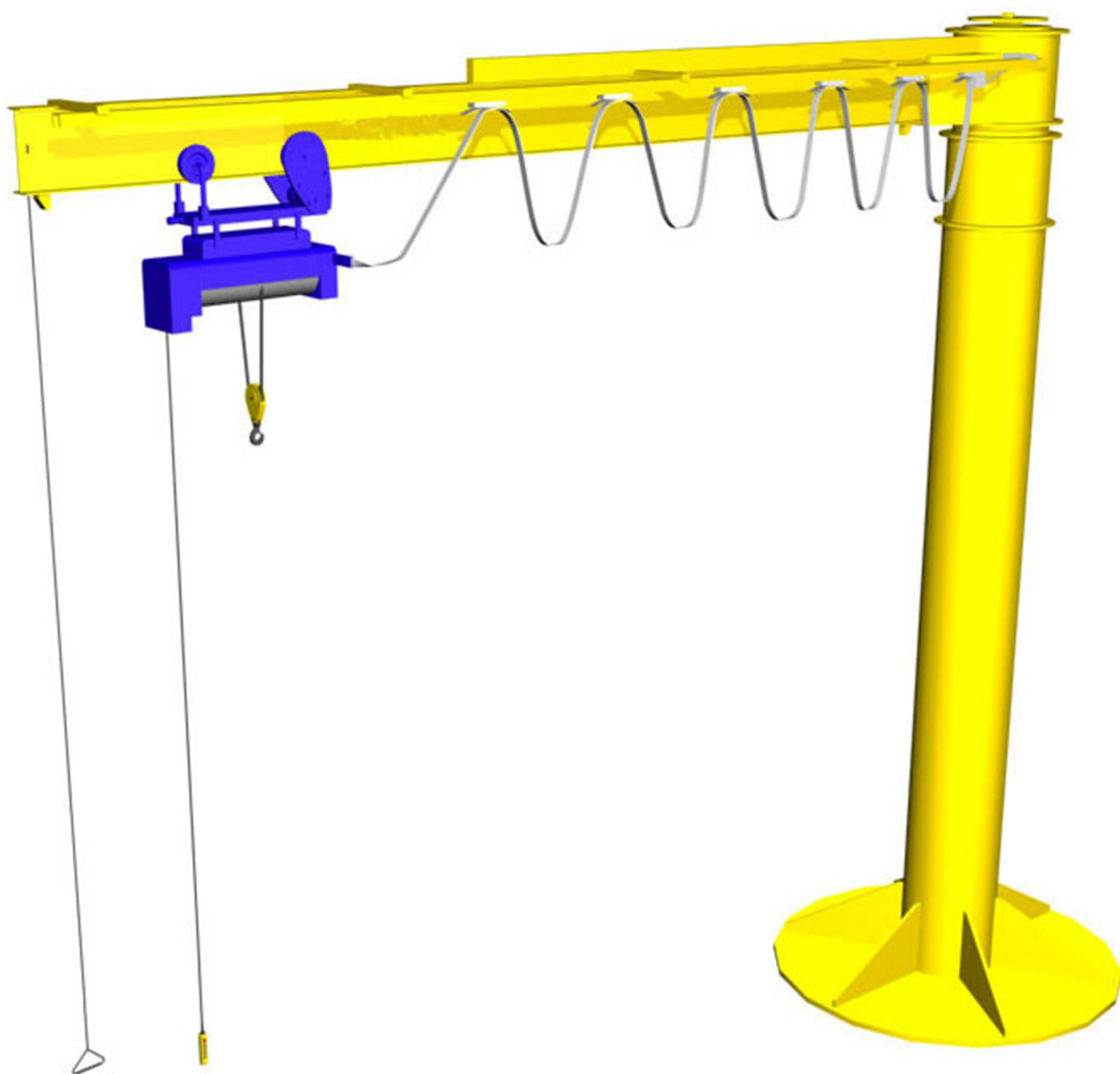


Рисунок 1.2 – Стационарний кран на колонні

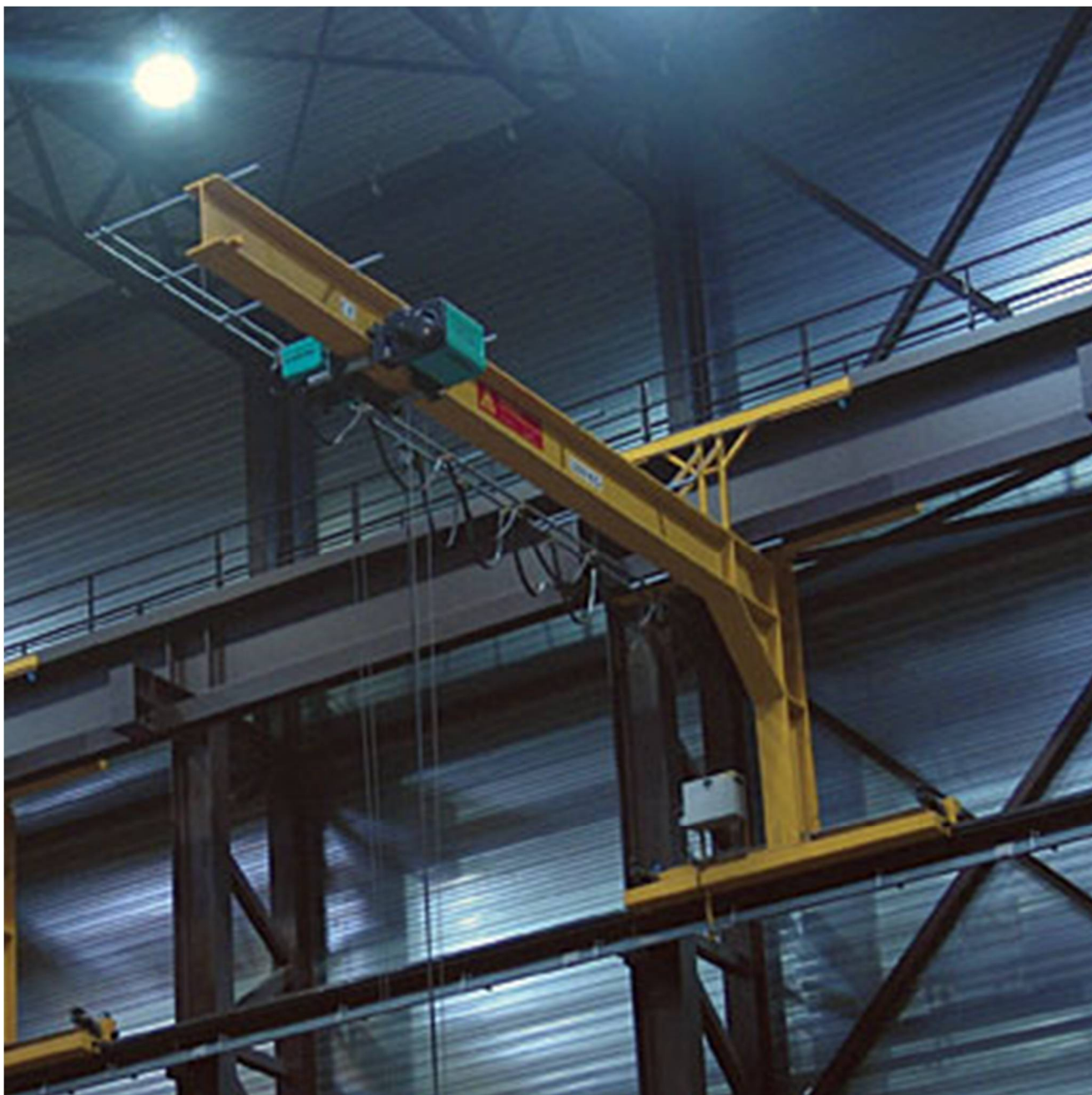


Рисунок 1.3 – Кран настінний пересувний

Стріла колонного консольного крана може бути складеною з двох частей (рисунок 1.4). Кожна частина стріли може обертатися на 360° , що дозволяє заводити кран у важкодоступні місця, переміщувати вантаж через дверні пройоми, над перешкодами не змінюючи положення консольного крана.



Рисунок 1.4 – Консольний кран з шарнірною стрілою

Відомі також конструкції консольних кранів які мають дві стріли. Вони можуть працювати окремо – кожна зі своїм механізмом підйому (рисунок 1.5) або разом, утворюючи потужну несучу конструкцію (рисунок 1.6).

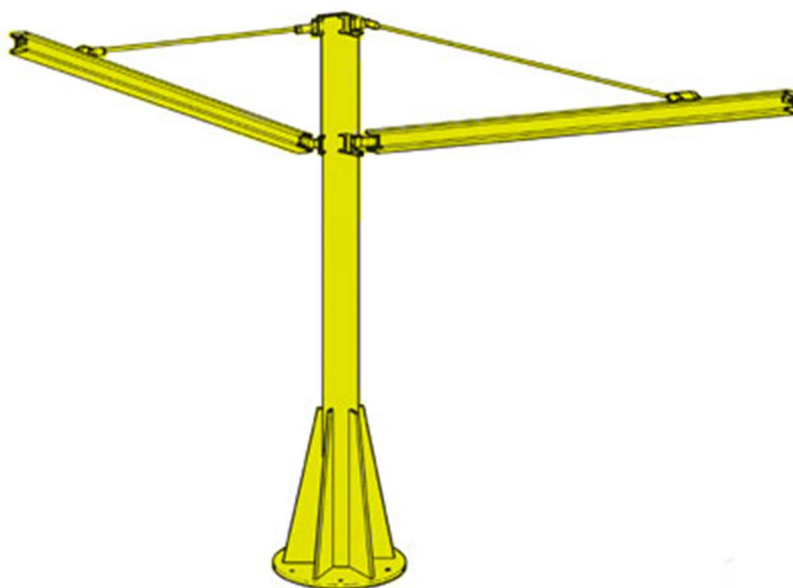


Рисунок 1.5 – Кран з двома стрілами, які працюють окремо

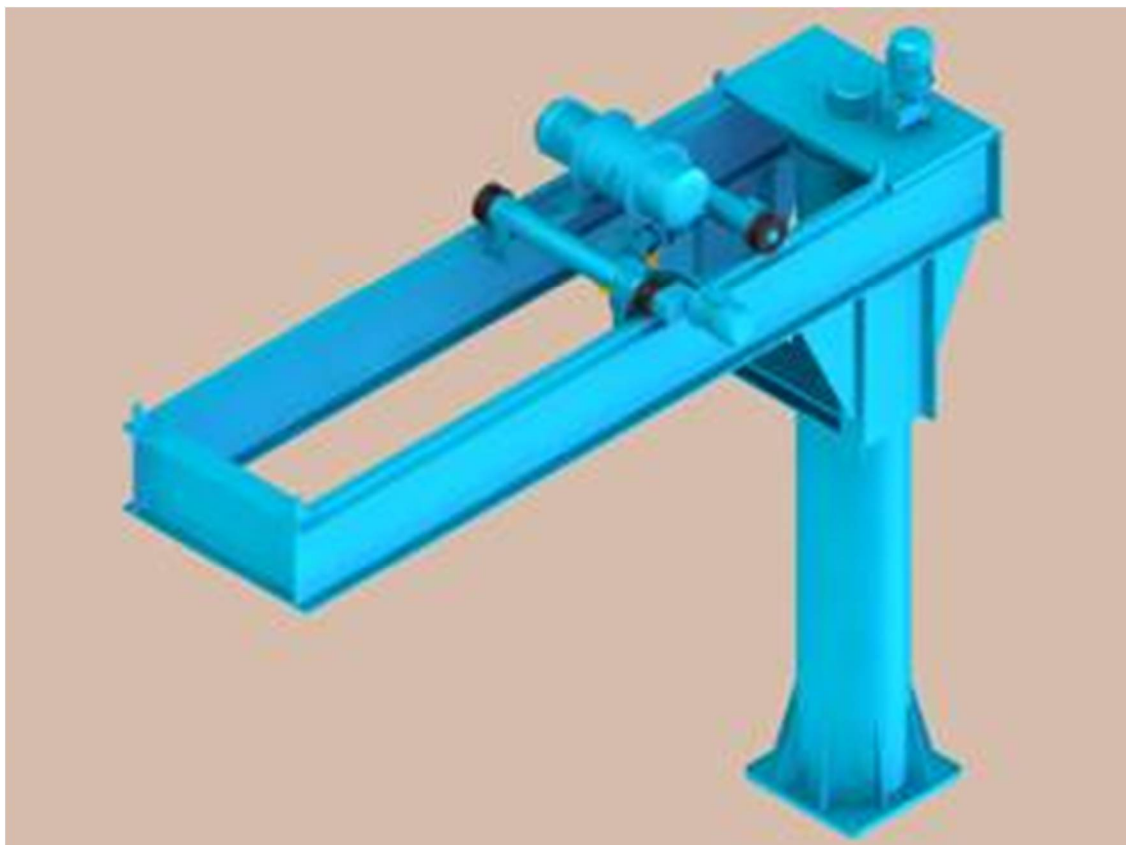


Рисунок 1.6 – Кран з двома стрілами, які працюють разом

Консольні крани можуть виготовлятися з ручним або електричним приводом механізму підйому вантажу, пересування талі та повороту консолі. Основні сфери застосування: цехи промислових підприємств, закриті складські приміщення і т.п.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ НАСТІННОГО КРАНУ ЗІ ЗМІННОЮ ГЕОМЕТРІЄЮ НЕСУЧОЇ КОНСТРУКЦІЇ

2.1 Геометричні параметри настінного крана зі змінною геометрією

Складаємо розрахункову схему (рисунок 2.1) і визначаємо найбільш важливі, з точки зору проектування крана, його геометричні параметри.

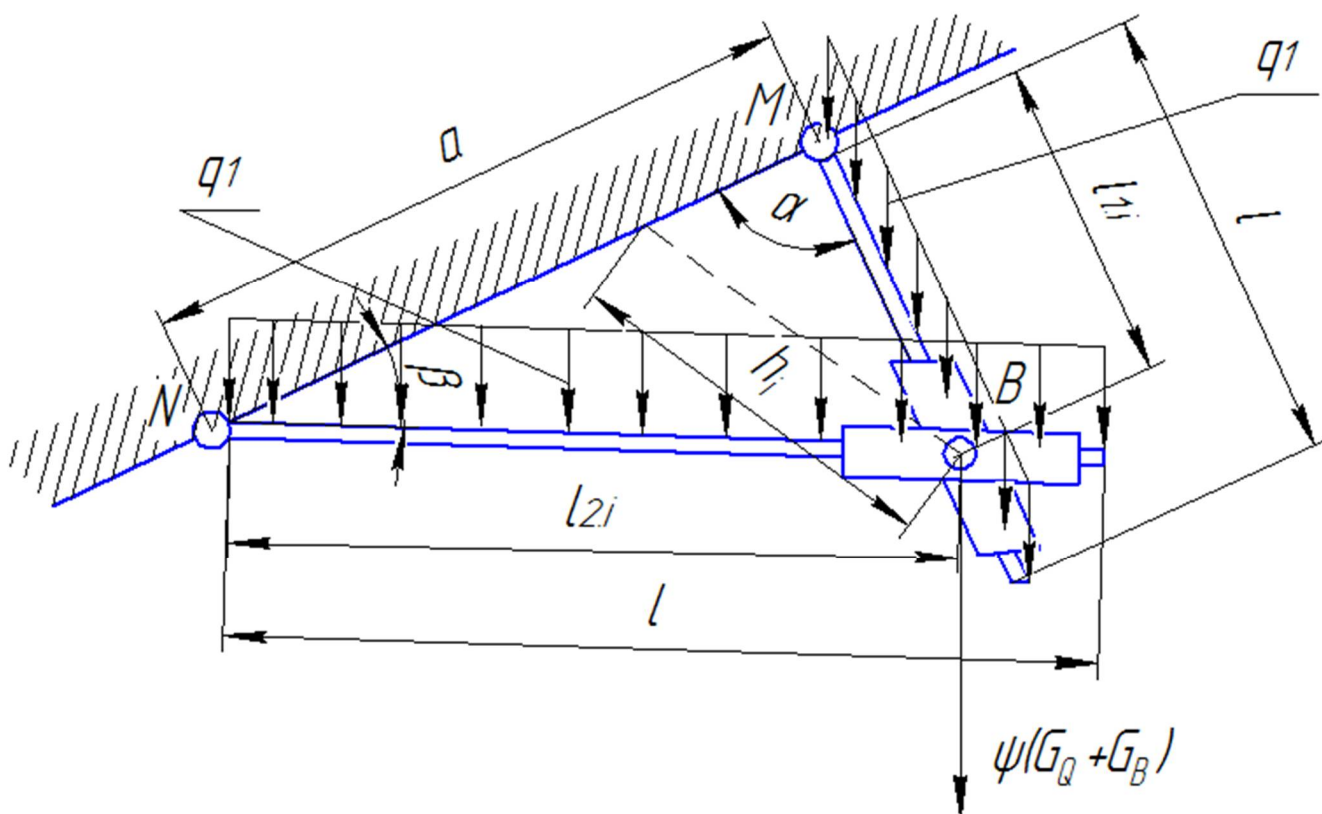


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема крана

Знайдемо залежність відстаней $l_{1,i}$ і $l_{2,i}$ від кутів повороту стріл відносно стінки. По теоремі синусів маємо:

$$\frac{l_{1,i}}{\sin \beta} = \frac{l_{2,i}}{\sin \alpha} = \frac{a}{\sin(180 - (\alpha + \beta))} = \frac{a}{\sin(\alpha + \beta)},$$

де a – відстань між шарнірами кріплення стріл.

Звідси маємо:

$$l_{1,i} = \frac{a \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad (2.1)$$

$$l_{2,i} = \frac{a \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}. \quad (2.2)$$

Відстань h_i (рисунок 2.1) від точки на зоні обслуговування до стінки можна визначити одним із двох методів. Першим – якщо відомі довжини вильотів стріл $l_{1,i}$ та $l_{2,i}$, другим – якщо відомі кути на які повернуті стріли.

1) Площа трикутника MBN за теоремою Герона знаходиться за формулою:

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-l_{1,i})(p-l_{2,i})},$$

де $p = \frac{a+l_{1,i}+l_{2,i}}{2}$ – напівпериметр $\triangle MBN$.

З іншого боку таж площа знаходиться за формулою:

$$S = \frac{1}{2} a h_i.$$

Маємо рівняння:

$$\sqrt{p(p-a)(p-l_{1,i})(p-l_{2,i})} = \frac{1}{2} a h_i,$$

звідси

$$h_i = \frac{2\sqrt{p(p-a)(p-l_{1,i})(p-l_{2,i})}}{a}. \quad (2.3)$$

2) З трикутників MBD та NBD маємо:

$$h_i = l_{1.i} \sin \alpha = l_{2.i} \sin \beta ,$$

підставимо значення l_1 та l_2 з формул (2.1) та (2.2) відповідно:

$$h_i = \frac{a \cdot \sin \alpha \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} . \quad (2.4)$$

2.2 Зона обслуговування настінного крану зі змінною геометрією несучої конструкції та її аналіз

Складаємо 3D модель зон обслуговування крану при його роботі у обох можливих режимах (рисунок 2.2) та проводимо їх аналіз.

У першому режимі роботи кран-трансформер являє собою два окремих класичних настінно-поворотних крана. Розташування їх у різних горизонтальних площинах дозволяє одночасно безперешкодно працювати з різними вантажами. Така конструкція дозволяє обом кранам обертатися навколо шарнірів на кути, які наближаються до 180° . Крім того крани утворюють велику зону, у якій вони можуть працювати обидва з одним і тим же або з різними вантажами.

При роботі крана у режимі трикутної несучої конструкції зона обслуговування менша приблизно у 3,5 рази порівняно з першим режимом роботи.

РОЗ- НКИ ЛО- ТРУК- КРАНУ

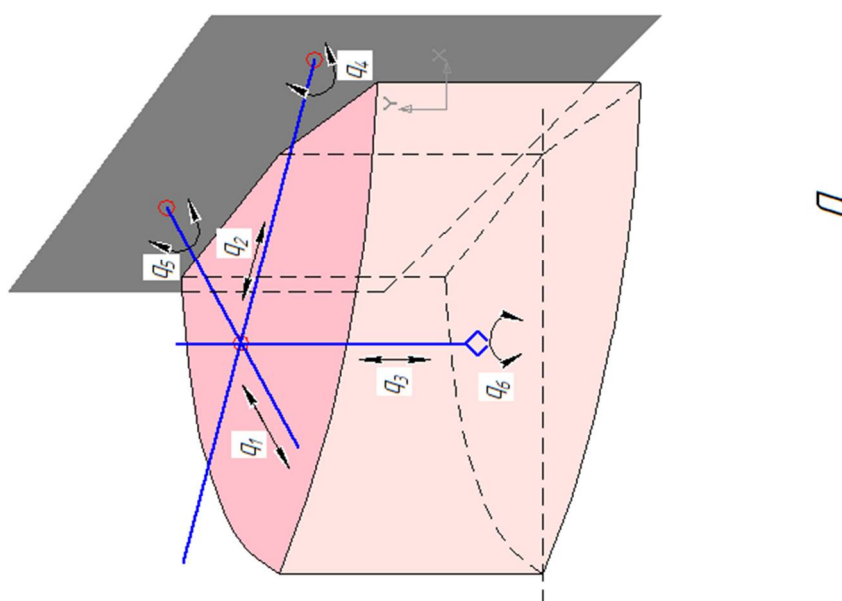
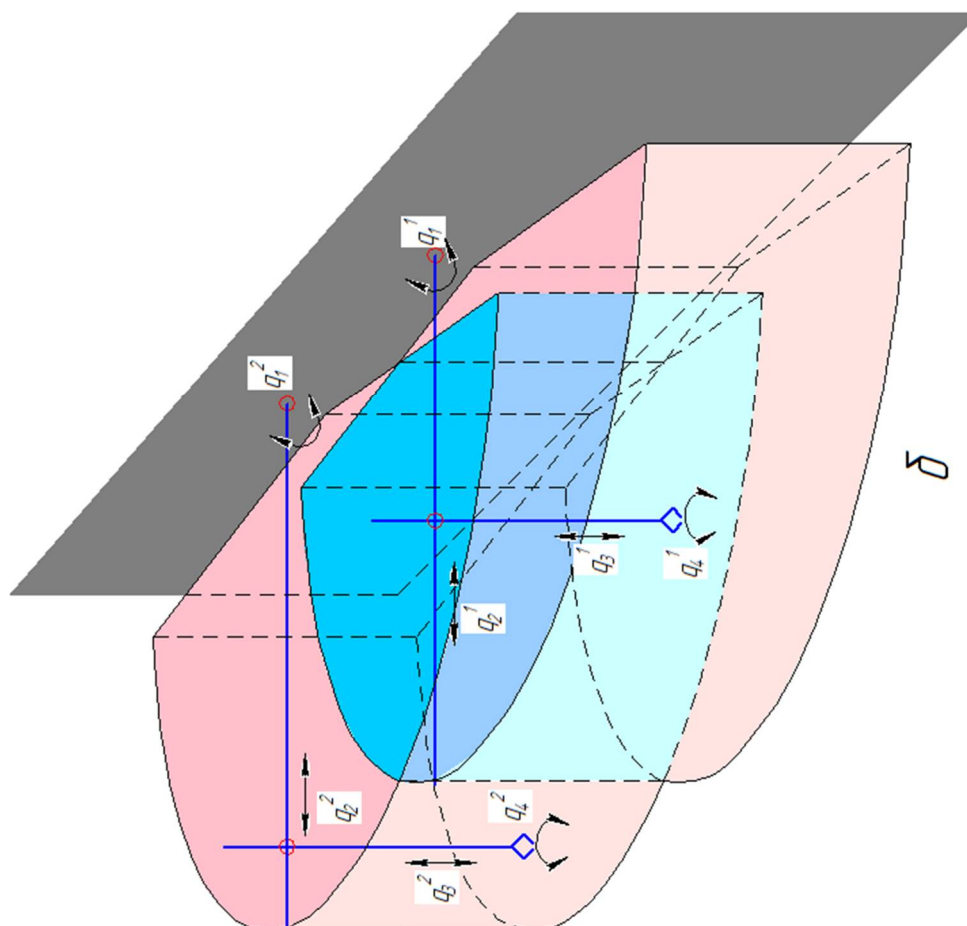
Розра-
несучої
ті ме-
нстру-
крана

3

РАХУ-
МЕТА-
КОНС-
ЦІЇ

3.1

хунок
здатнос-
талоко-
кції



Основою надійності чи, інакше, не руйнування конструкції є умова збереження кожним її елементом та конструкцією в цілому несучої здатності при дії експлуатаційних навантажень.

Розрізняють несучу здатність елементів за умовою міцності, витривалості (тобто довговічності при змінних навантаженнях) та стійкості (в сенсі збереження заданої форми пружної рівноваги). Забезпечення вказаних умов досягається правильним вибором конструктивної форми окремих елементів та вузлів, а також типу геометричних характеристик перетинів (площа, момент інерції і т.п.).

Несуча ж здатність конструкції в цілому характеризується в основному її стійкістю (у вказаному вище сенсі) та деформаціями, які припустимі за умовою експлуатації, що забезпечується відповідним просторовим компонуванням (взаємне розміщення елементів) та правильним вибором співвідношень генеральних розмірів (висота, ширина і т.п.) [4].

Проаналізуємо несучу здатність крана-трансформера при роботі у обох режимах.

Під час роботи на металоконструкцію крана діють такі сили (рисунок 2.1):

- сила власної ваги металоконструкції крана, H ;
-

$$G_1 = q_1 \cdot l = 2 \cdot F \cdot l \cdot \rho \cdot g, \quad (3.1)$$

де F – площа поперечного перетину стріли, m^2 ;

ρ – густина матеріалу, kg/m^3 ;

g – прискорення вільного падіння, m/s^2 ;

l – довжина виліту стріли, m ;

- сила ваги вантажу (включно вантажозахоплювальний орган) з урахуванням динамічного коефіцієнта - $\psi_{II}G_Q$;

- сила ваги візку з урахуванням динамічного коефіцієнту – $\psi_{II}G_B$.

Формула для розрахунку несучої здатності металоконструкції крана, коли він працює у режимі трикутної конструкції:

$$\sigma_1 = \frac{M_{G_1} + M_{(G_Q + G_B)}}{2W}, \quad (3.2)$$

де $M_{(G_Q + G_B)}$ - вантажний момент, викликаний дією сили ваги вантажу разом із вантажозахоплювальним органом та сили ваги візка, Н·м:

$$M_{(G_Q + G_B)} = \psi_{II}(G_Q + G_B) \cdot l; \quad (3.3)$$

M_{G_1} – момент, викликаний дією сили власної ваги металоконструкції, Н·м:

$$M_{G_1} = G_1 \cdot \frac{l}{2}; \quad (3.4)$$

W – момент опору площі перетину однієї стріли, м³.

Отже, для розрахунку несучої здатності металоконструкції настінного крану зі змінною геометрією несучої конструкції у будь якій точці робочої зони використовується формула:

$$\sigma_1 = \frac{G_1 \frac{l}{2} + \psi_{II}(G_Q + G_B)l}{2W}. \quad (3.5)$$

Для забезпечення стійкості металоконструкції, при роботі у режимі двох однострілових консольних кранів, сила ваги вантажу (включно вантажозахоплювальний орган та візок) повинна бути удвічі менше ніж при роботі в режимі трикутної конструкції (тобто $\frac{\psi_{II}(G_Q + G_B)}{2}$).

Проаналізуємо вантажопідйомність крана при роботі у різних точках робочої зони. При роботі двох окремих однострілових кранів вантажопідйомність кожної стріли зворотно пропорційна довжині робочої частини стріли, тобто вильоту ван-

тажу. Так зменшення вильоту удвічі призведе до збільшення вантажопідйомності удвічі і т.д.

Момент згину, який діє на кожну стрілу, розраховується за формулою:

$$M_{зг} = \frac{G_1 l}{2} + \frac{\psi_{II}(G_{Q_i} + G_B)}{2} l_i \quad (3.6)$$

де G_{Q_i} – максимальна сила ваги вантажу, яку може витримати металоконструкція стріли, при вильоті вантажу l_i .

Побудуємо графік залежності вантажопідйомності однострілового крана від вильоту. Для цього проаналізуємо значення вантажопідйомності на конкретних вильотах. Нехай при максимальному вильоті l буде забезпечена мінімальна вантажопідйомність $0,5Q$ (при роботі крана у вигляді трикутної несучої конструкції мінімальна вантажопідйомність дорівнює Q). Залежність вантажопідйомності від вильоту наведена у таблиці 3.1.

$$Q_i = \frac{M_{(G_Q + G_B)}}{l_i} - m_B \quad (3.7)$$

де m_B – маса вантажного візка.

Таблиця 3.1 – Залежність вантажопідйомності однострілового крана від вильоту вантажу

Виліт	Вантажопідйомність
l	$0,5 Q$

$0,9\ l$	$0,56\ Q$
$0,8\ l$	$0,63\ Q$
$0,7\ l$	$0,71\ Q$
$0,6\ l$	$0,83\ Q$
$0,5\ l$	Q
$0,4\ l$	$1,25\ Q$
$0,3\ l$	$1,67\ Q$
$0,2\ l$	$2,5\ Q$
$0,1\ l$	$5\ Q$
$0,05\ l$	$10\ Q$

На основі даних з таблиці 3.1 будуюмо вантажну характеристику однострілового крану (рисунок 3.1).

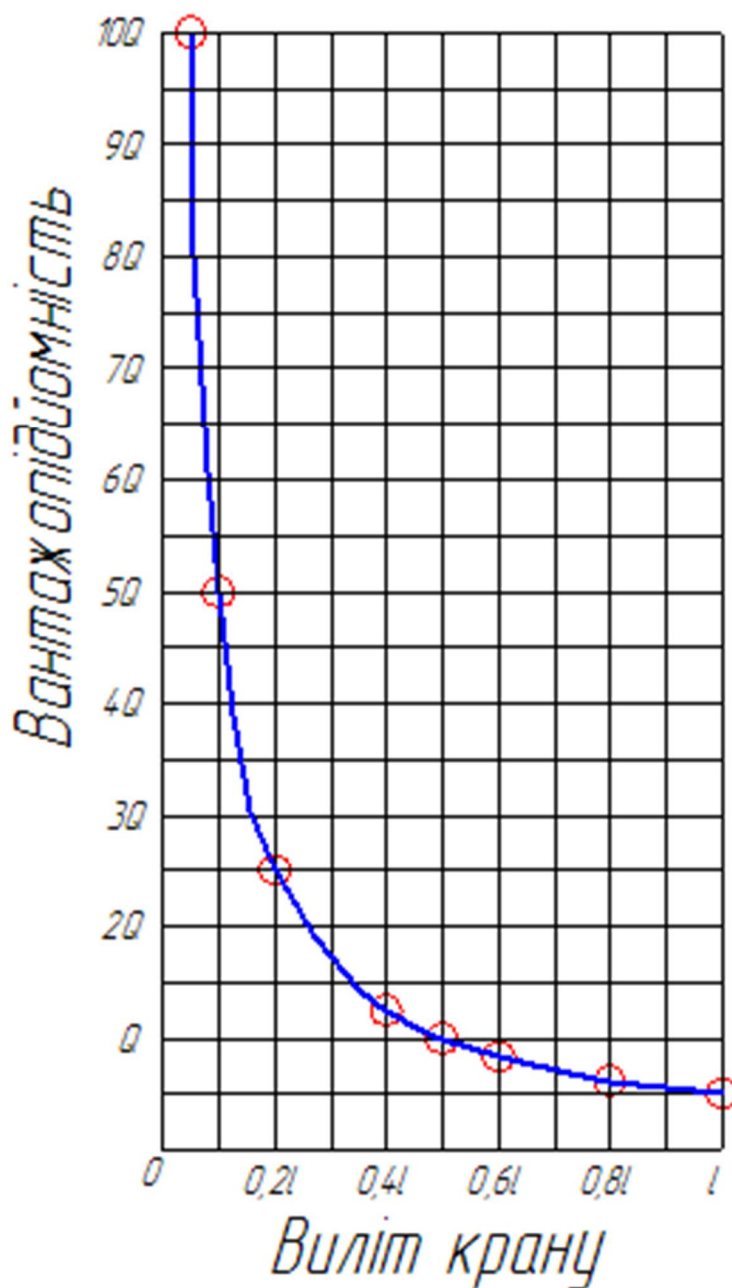


Рисунок 3.1 – Вантажна характеристика однострілового консольного крана

Для визначення вантажопідйомності крана у будь-якій точці робочого простору при роботі у режимі трикутної несучої конструкції необхідно скласти вантажопідйомності кожної стріли, які вони можуть забезпечити при даних вильотах.

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 = \frac{M_{(G_Q+G_B)}}{l_1} + \frac{M_{(G_Q+G_B)}}{l_2} - m_B \quad (3.8)$$

Користуючись моделюванням у програмі КОМПАС-3D V8 Plus знаходимо довжини $l_{1,i}$ та $l_{2,i}$ у десяти довільно обраних точках (рисунок 3.2). На підставі знайдених відносних величин розраховуємо вантажопідйомності, які може забезпечити конструкція при знаходженні вантажу у цих точках.

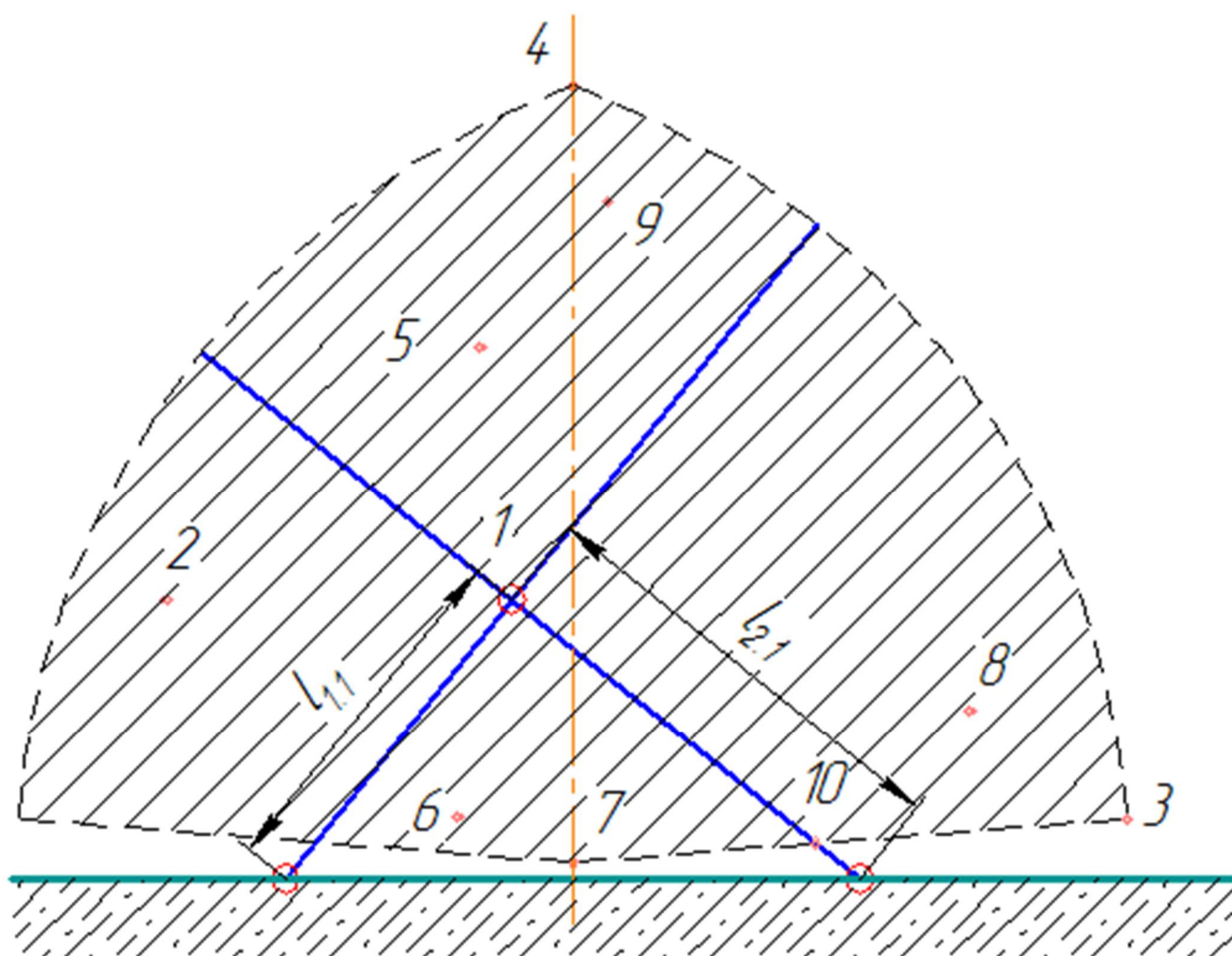


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку вантажопідйомності у різних точках робочої зони

Таблиця 3.2 – Вантажопідйомність крана-трансформера у різних точках робочої зони

№ точки	Виліт на першій стрілі $l_{1,i}$	Виліт на другій стрілі $l_{2,i}$	Максимальна можлива вантажопідйомність на першій стрілі Q_1	Максимальна можлива вантажопідйомність на другій стрілі Q_2	Максимальна можлива сумарна вантажопідйомність Q_{Σ}
1	$0,43 l$	$0,53 l$	$1,16 Q$	$0,94 Q$	$2,1 Q$
2	$0,36 l$	$0,89 l$	$1,39 Q$	$0,56 Q$	$1,95 Q$
3	l	$0,32 l$	$0,5 Q$	$1,56 Q$	$2,06 Q$
4	l	l	$0,5 Q$	$0,5 Q$	Q
5	$0,67 l$	$0,77 l$	$0,75 Q$	$0,65 Q$	$1,4 Q$
6	$0,22 l$	$0,48 l$	$2,27 Q$	$1,04 Q$	$3,31 Q$
7	$0,34 l$	$0,34 l$	$1,47 Q$	$1,47 Q$	$2,94 Q$
8	$0,84 l$	$0,24 l$	$0,6 Q$	$2,08 Q$	$2,68 Q$
9	$0,89 l$	$0,86 l$	$0,56 Q$	$0,58 Q$	$1,14 Q$
10	$0,63 l$	$0,07 l$	$0,79 Q$	$7,14 Q$	$7,93 Q$

Отже, робимо висновок, що вантажопідйомність крану буде значно збільшуватися при наближенні робочого органу до одного з шарнірів кріплення стріли (точка 10). А зменшення вантажопідйомності буде спостерігатися при прагненні довжин робочих частин стріл до l (повної довжини стріли) (точка 4).

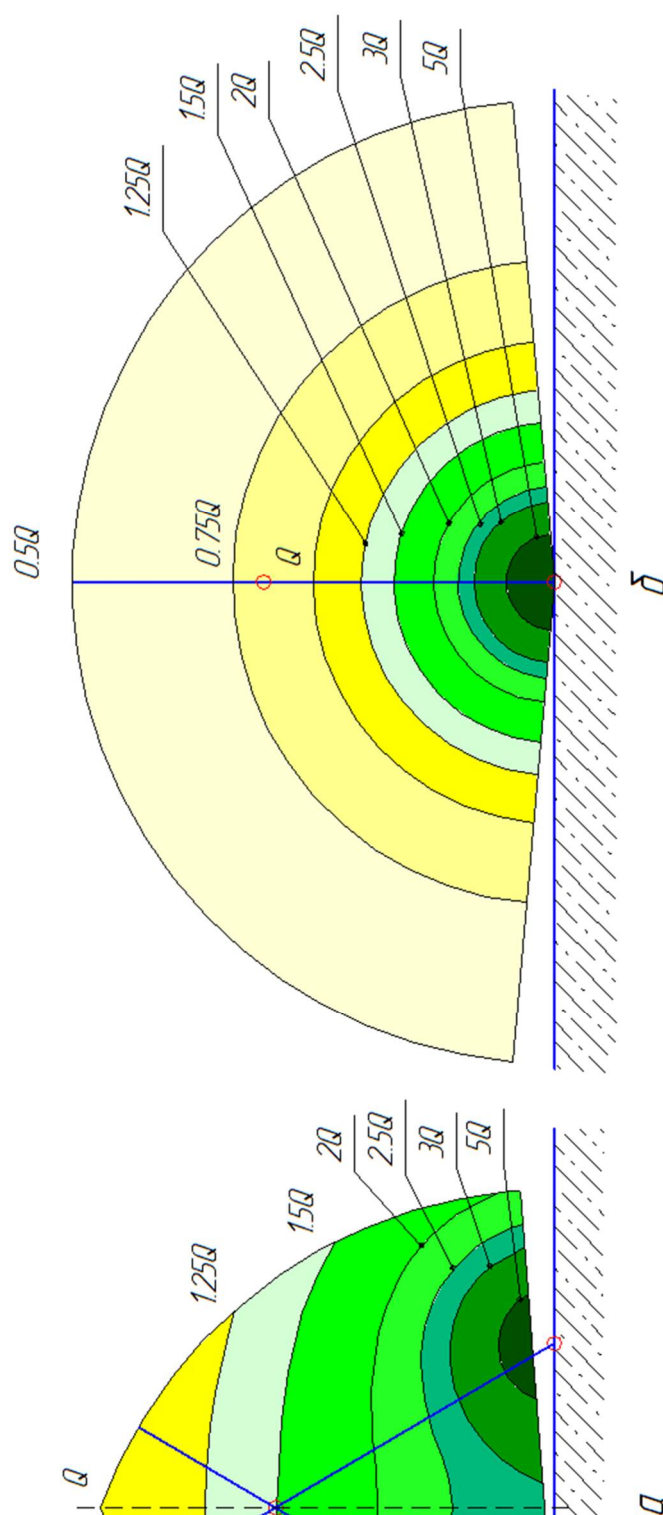
Визначимо точки у яких вантажопідйомність крана буде однаковою, тобто сума Q_1+Q_2 буде постійною. Розрахунок робимо для значень вантажопідйомності $Q, 1.25Q, 1.5Q, 2Q, 2.5Q, 3Q, 5Q$. В результаті розрахунків, користуючись системою рівнянь 1.13, отримуємо значення вильотів $l_{1,i}$ та $l_{2,i}$, при яких забезпечуються вказані вантажопідйомності.

$$\left. \begin{aligned} l_{1,i} &= \frac{M_{(G_Q+G_B)}}{Q_1+m_B} \\ l_{2,i} &= \frac{M_{(G_Q+G_B)}}{Q_2+m_B} \\ Q_1 + Q_2 &= const \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

По отрима-
та $l_{2,i}$ будуємо кри-
чується вказана
йомність (рисунок
зони обслугову-
вого крана, корис-
3.2, наносимо зна-
йомності в залеж-
(рисунок 3.3 б).

На рисунку
що вантажопідйо-
вого настінного
значній мірі зале-
вантаж. Для три-
конструкції харак-
вантажопідйом-
обслуговування.

3.2 Визна- металоконструк- ного зі змінною



ним значенням $l_{1,i}$
ві, на яких забезпе-
вище вантажопід-
3.3 а). На схему
вання одностріло-
туючись таблицею
чення вантажопід-
ності від вильоту

3.3 добре видно,
мність одностріло-
крану менша і у
жить від вильоту
кутної несучої
терна більш стала
ність по всій зоні

чення прогинів
ції крану настін-
геомет

йомності від вильоту для крана-трансформера у
жкції (а) та у режимі одно стрілового крану (б)

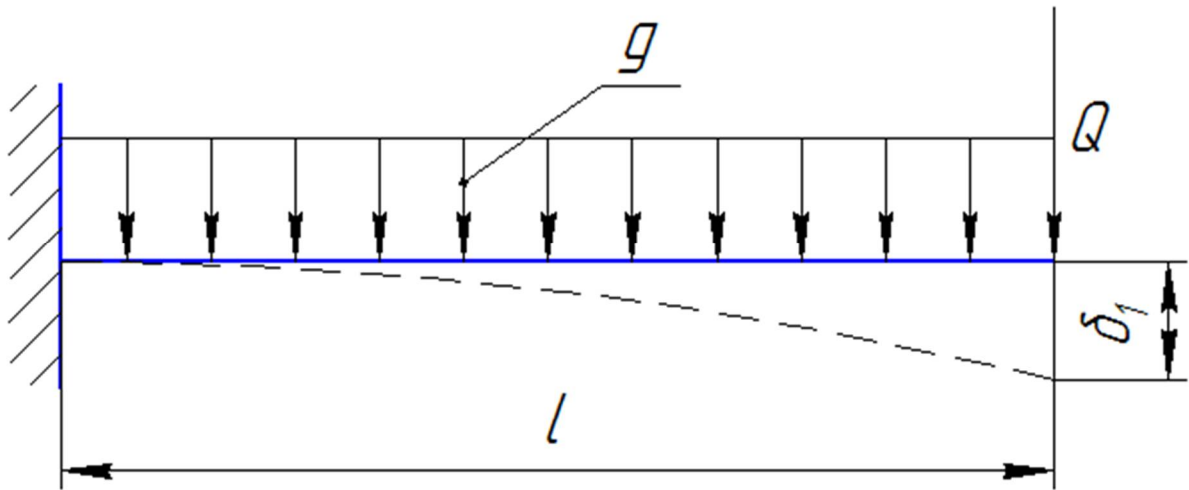


Рисунок 3.4 – Схема прогину стріли настінного консольного крана

Максимальний прогин (прогин кінця консолі) металоконструкції звичайного настінного поворотного крана, мінімальний осьовий момент інерції поперечного перетину якого дорівнює J , а на максимальному вильоті l знаходиться вантаж Q (рисунок 3.4), буде дорівнювати:

$$\delta_1 = \frac{Ql^3}{3EJ} + \frac{G_1 l^3}{8EJ} = \frac{l^3}{EJ} \left(\frac{Q}{3} + \frac{G_1}{8} \right); \quad (3.10)$$

де E – модуль повздовжньої пружності матеріалу стрижня (модуль Юнга);

G_1 – сила власної ваги металоконструкції крана, $G_1 = gl$.

Якщо такий же вантаж Q піднімається настінным краном зі змінною геометрією несучої конструкції максимальний прогин буде меншим. Несуча конструкція складається із двох таких же балок довжиною l і з моментом інерції перетину J . Для такої конструкції максимальний прогин буде дорівнювати:

$$\delta_2 = \frac{Ql^3}{3E \cdot 2J} + \frac{2G_1l^3}{8E \cdot 2J} = \frac{l^3}{EJ} \left(\frac{Q}{6} + \frac{G_1}{8} \right). \quad (3.11)$$

Отже, робимо висновок, що прогин металоконструкції від корисного навантаження буде удвічі менше, а прогин спричинений власною вагою металоконструкції залишиться незмінним. В результаті сумарний прогин трикутної несучої конструкції буде значно меншим за прогин звичайного настінного консольного крану.

3.3 Вибір оптимального перетину кранових балок

Важливою задачею в дослідженні крану настінного зі змінною геометрією є вибір оптимального перетину кранових балок. Цей перетин повинен забезпечувати найбільш ефективну і продуктивну роботу крану. Одним з найважливіших параметрів стріли є її максимальний прогин під дією корисного навантаження. Також проаналізуємо нормальні напруження, які виникають у різних перетинах стріл. Для порівняльного аналізу обираємо п'ять труб різної форми: квадратну ГОСТ 8639-82, прямокутну ГОСТ 8645-68, круглу ГОСТ 8732-78, овальну ГОСТ 8642-68 та шестигранну. Обрані труби мають практично однакову площу поперечного перетину, отже їх маси однакові.

Порівняльний аналіз різних можливих перетинів стріл зробимо за допомогою програмного комплексу ЛИРА 9.4.

Багатофункціональний програмний комплекс ЛИРА 9.4 призначено для проектування та розрахунку будівельних конструкцій різноманітного призначення.

ПК ЛИРА 9.4 включає наступні основні функції:

- розвинене інтуїтивне графічне середовище користувача;
- потужний багатофункціональний процесор;
- розвинену бібліотеку кінцевих елементів, яка дозволяє створювати комп'ютерні моделі практично будь-яких конструкцій: стрижневі пласкі та

просторові схеми, оболонки, плити, балки-стілки, масивні конструкції, мембрани, тенти, а також комбіновані системи, які складаються із кінцевих елементів різноманітної мірності (плити та оболонки підперті ребрами, рамні системи, плити на пружній основі і т.і.);

- розрахунки на різноманітні види динамічних впливів (сейсмічні, вітер з урахуванням пульсації, вібраційні навантаження, імпульс, удар);
- конструюючі системи залізобетонних і сталевих елементів у відповідності до нормативів стран СНД, Європи і США;
- редагування баз сталевих сортаментів;
- зв'язок з іншими графічними і документуючими системами (AutoCAD, ArchiCAD, MS Word и др.) на основі DXF і MDB файлів;
- розвинену систему допомоги, зручну систему документування;
- можливість зміни мови (руська/англійська) інтерфейсу та/або документування на будь-якому етапі роботи;
- різноманітні системи одиниць виміру та їх комбінації.

Крім того, ПК ЛИРА 9.4 має ряд додаткових унікальних можливостей:

- швидкодіючі алгоритми складання та розв'язку систем рівнянь;
- суперелементне моделювання з візуалізацією на всіх етапах розрахунку, яке дозволяє зняти будь-які обмеження на розмір задачі, що розв'язується. Є приклади розрахунку конструкцій, суперелементні моделі яких містять більш ніж 1 млн. невідомих;
- модулі врахування фізичної нелінійності на основі різних нелінійних залежностей s - e , які забезпечують можливість комп'ютерного моделювання процесу навантаження як моно-, так і бі-матеріальних конструкцій, з простеженням розвитку тріщин, проявленням деформацій ползучості та текучості, аж до отримання картини руйнування конструкції;
- модулі врахування геометричної нелінійності, які дозволяють визначити великі переміщення конструкції з незмінною формою, а також встановити почткову рівноважну форму змінних конструкцій — окремих канатів, вантових ферм, висячих вантових покриттів, тентів, мембран.

- великий набір спеціальних кінцевих елементів, який дозволяє складати адекватні комп'ютерні моделі для складних і неординарних споруд. Наприклад: кінцевий елемент, який моделює податливість узлів; кінцевий елемент, який моделює роботу ґрунту за межами конструкції; кінцевий елемент, який моделює натяжний пристрій (форкопф) і дозволяє забезпечувати задане початкове натягнення контура конструкції або знаходити необхідне натягнення, яке забезпечує задану геометрію (наприклад, тента).

Для розрахунку геометричних, крутильних, зсувних, пластичних та жорсткісних характеристик перетинів використаємо програму ЛИР-КС. Система ЛИР-КС (Конструктор Сечений) являє собою спеціалізовану графічну середу та містить інструменти для формування перерізів довільної конфігурації. Система оздоблена процесором для розрахунку їх осьових, згинальних, крутильних, зсувних і пластичних характеристик. Надається можливість конструювати складні перерізи, які складаються із простих. Припустимим є імпорт стандартних профілей із системи ЛИР-РС. Для отримання перерізу довільної форми використовуються булеві операції складання та віднімання плоских фігур. ЛИР-КС інформаційно пов'язана с системою ЛИР-ВИЗОР. Створений переріз можна експортувати в ЛИР-ВИЗОР і призначити його відповідному елементу. Є також можливість імпортувати в ЛИР-КС зусилля, отримані після розрахунку. Це дозволяє отримати картину розподілу напружень по перерізу – нормальних, касательних, головних и еквівалентних.

Результати розрахунків характеристик перетинів містяться у додатках А, Б, В, Г і Д. На першій стадії проектування була побудована 3D модель настінного крана (рисунок 3.5). Розташуємо зосереджене навантаження на максимальному вильоті крана для можливості аналізу максимального прогину конструкції.

На другій стадії проектування були створені 3D моделі стріл що досліджуються. Моделі, використані для розрахунків, представлені на рисунках 3.6 – 3.10.

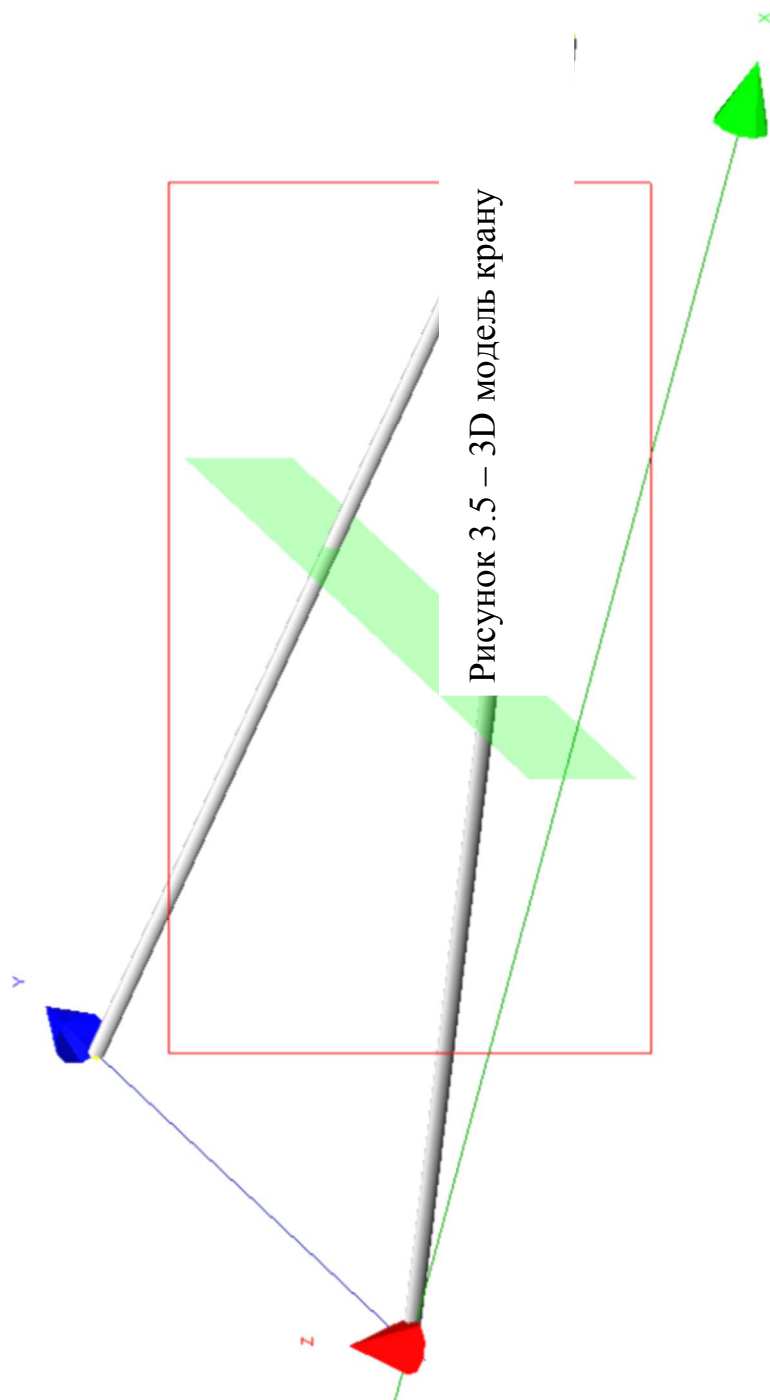




Рисунок 3.6 – 3D модель квадратної стріли

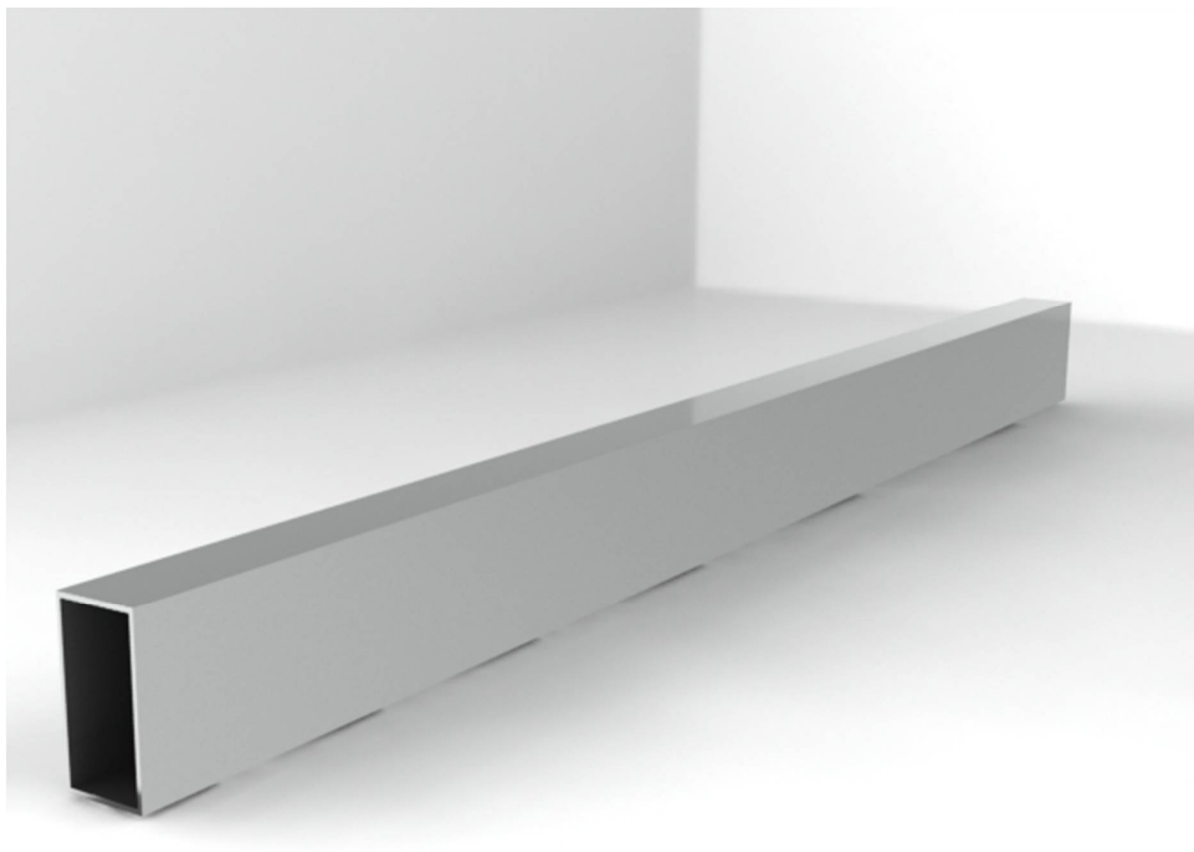


Рисунок 3.7 – 3D модель прямокутної стріли

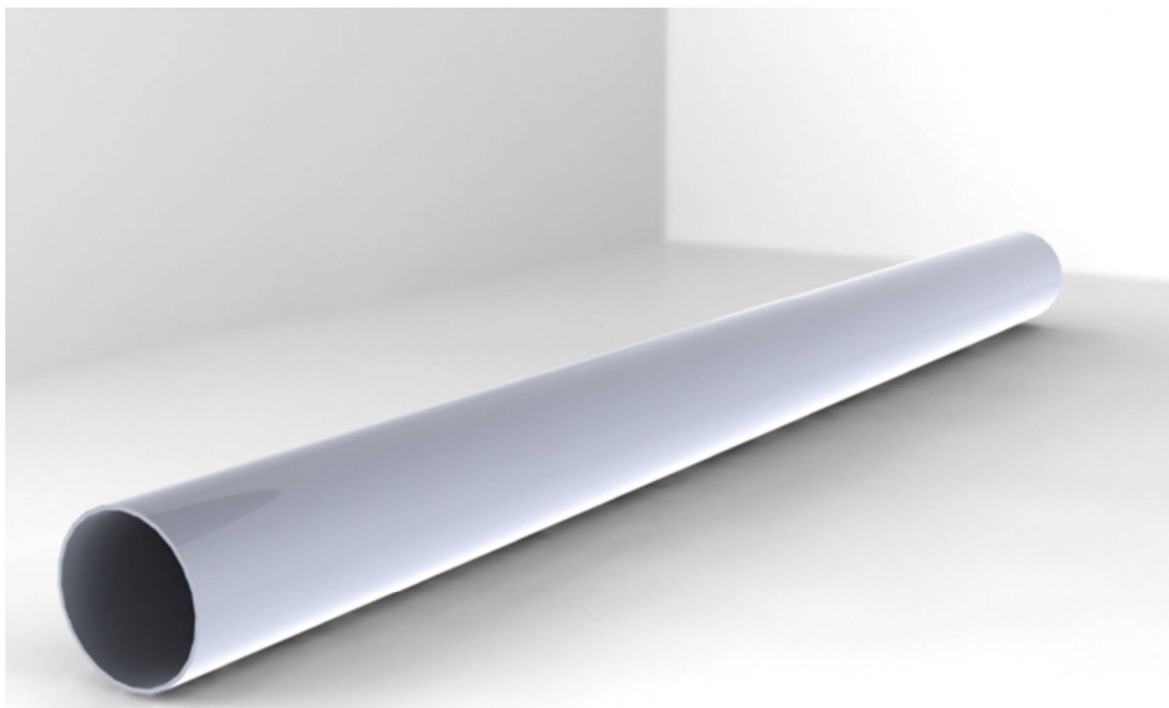


Рисунок 3.8 – 3D модель круглої стріли

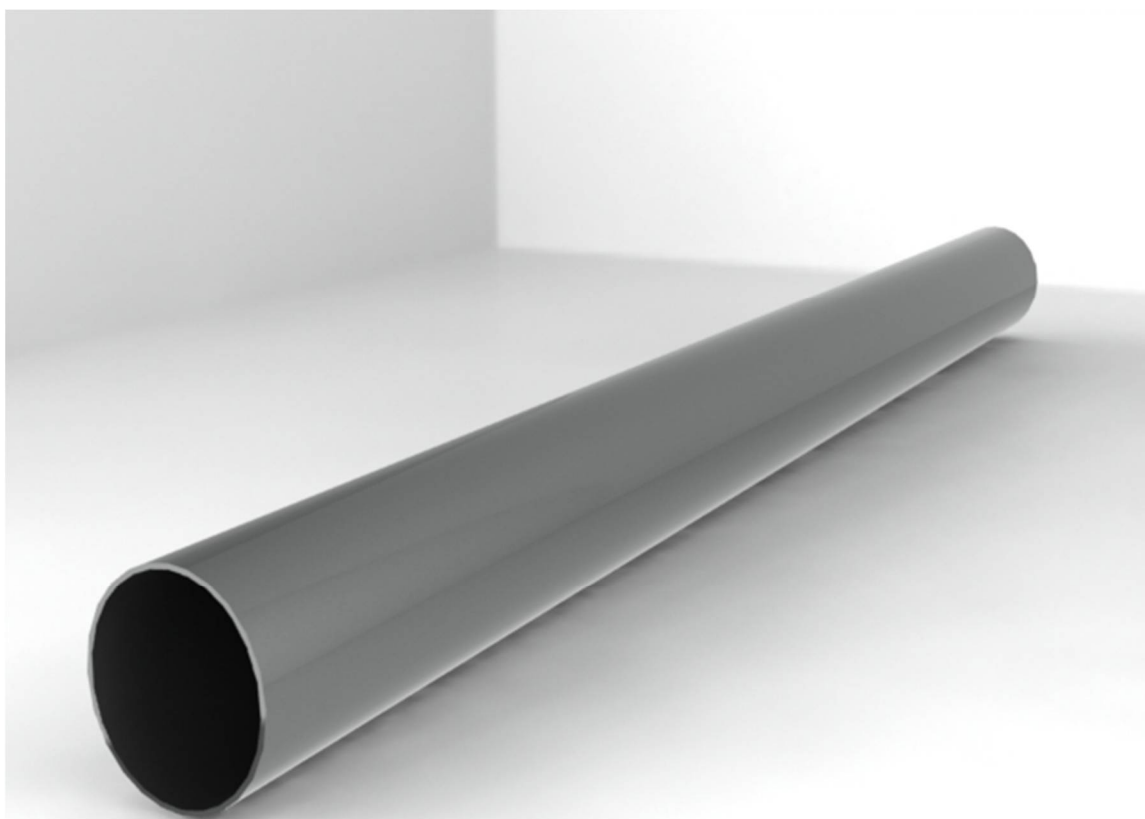


Рисунок 3.9 – 3D модель овальної стріли

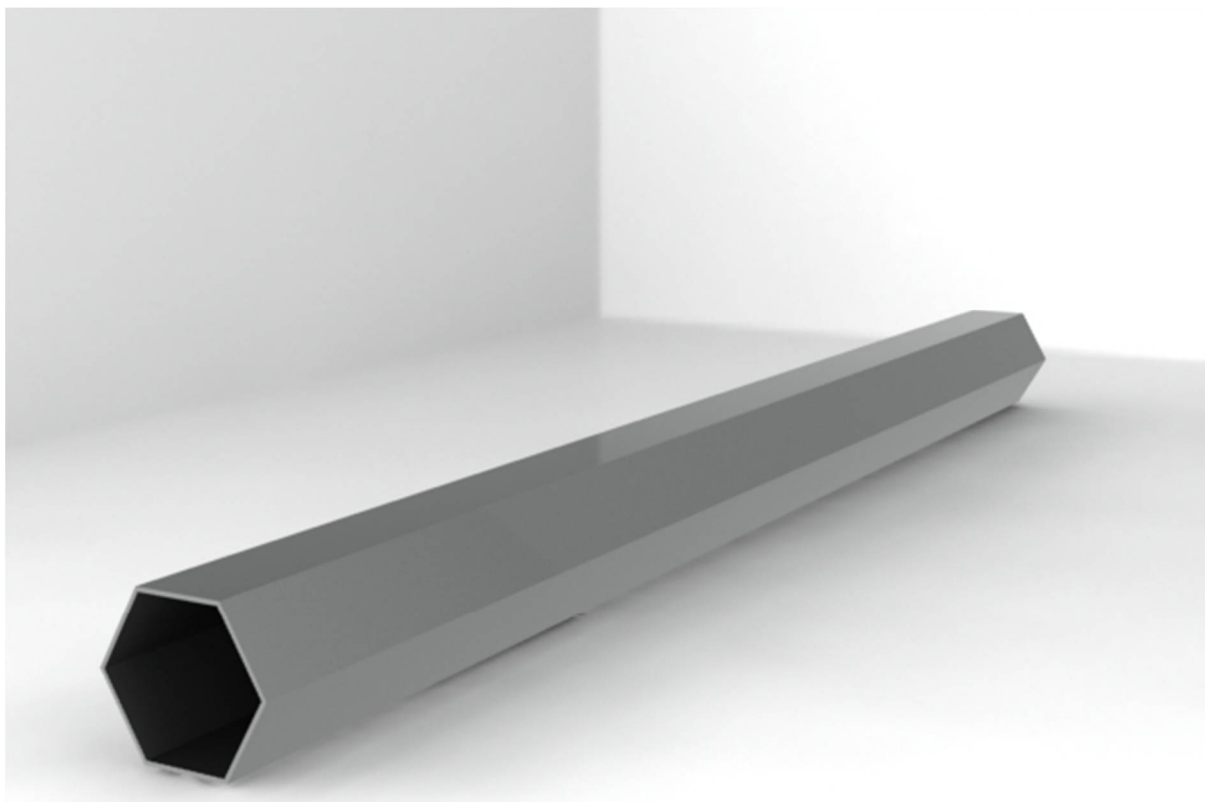


Рисунок 3.10 – 3D модель шестикутної стріли

Вищеназвані моделі було навантажено однаковою силою, прикладеною на кінці стріл крану.

В результаті проведених розрахунків були отримані такі епюри прогинів:

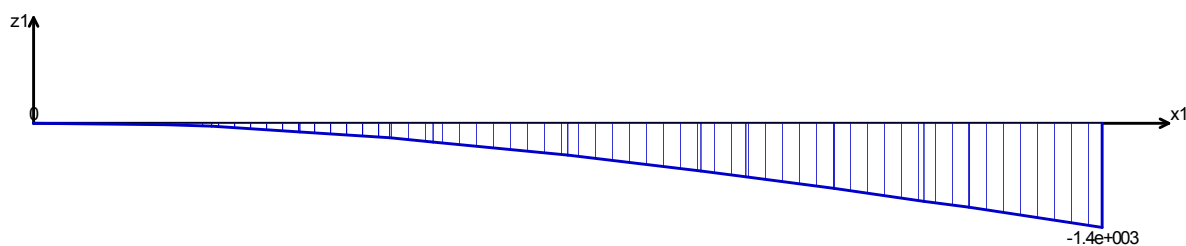


Рисунок 3.11 – Епюра прогинів квадратної стріли

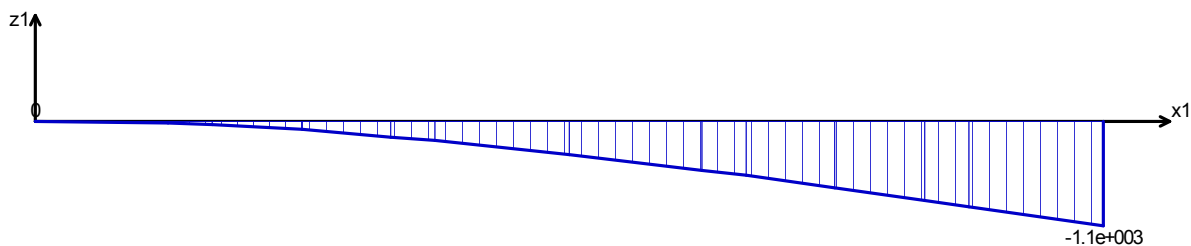


Рисунок 3.12 – Епюра прогинів прямокутної стріли

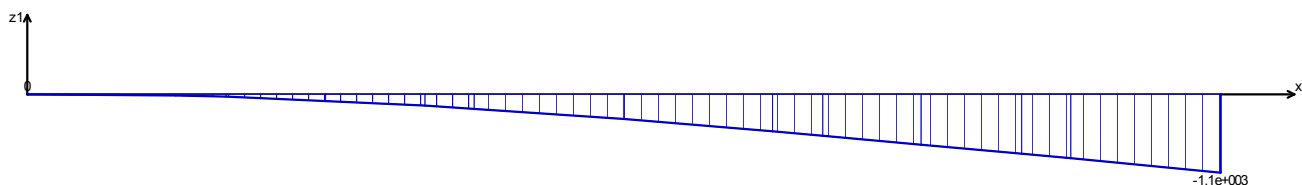


Рисунок 3.13 – Епюра прогинів круглої стріли

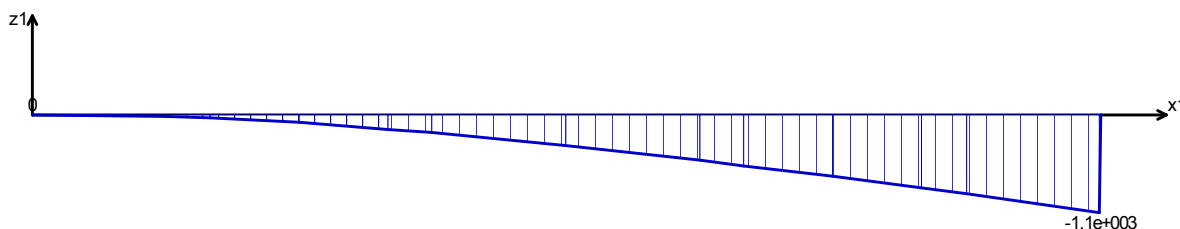


Рисунок 3.14 – Епюра прогинів овальної стріли

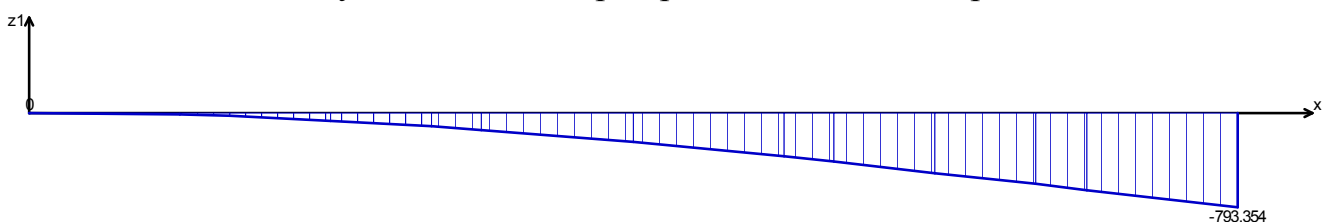


Рисунок 3.15 – Епюра прогинів шестигранної стріли

Як видно з наведених епюр, прогин стріли виготовленої із шестигранної труби буде найменшим, це забезпечить кращу точність позиціонування робочого органу, а це в свою чергу забезпечить кращу продуктивність праці. З точки зору максимального прогину найбільш не вигідним є квадратний перетин стріли, прийємо прогин такої стріли за 100%. Результати порівняння прогинів стріл наведені на рисунку 3.16.

Порівняємо також нормальні напруження які виникають в перетині стріли під дією корисного навантаження. Ізополі нормальних напружень приведені на рисунках 3.17 – 3.21. Як бачимо із наведених діаграм найменші нормальні напруження виникають у стрілах, які виготовлені із прямокутної та шестигранної труби, а найбільші – у стрілах, виготовлених з овальної труби. Прийємо напруження у такій стрілі за 100% і порівняємо з напруженнями у інших перетинах. Результати порівняння наведені на рисунку 3.22.

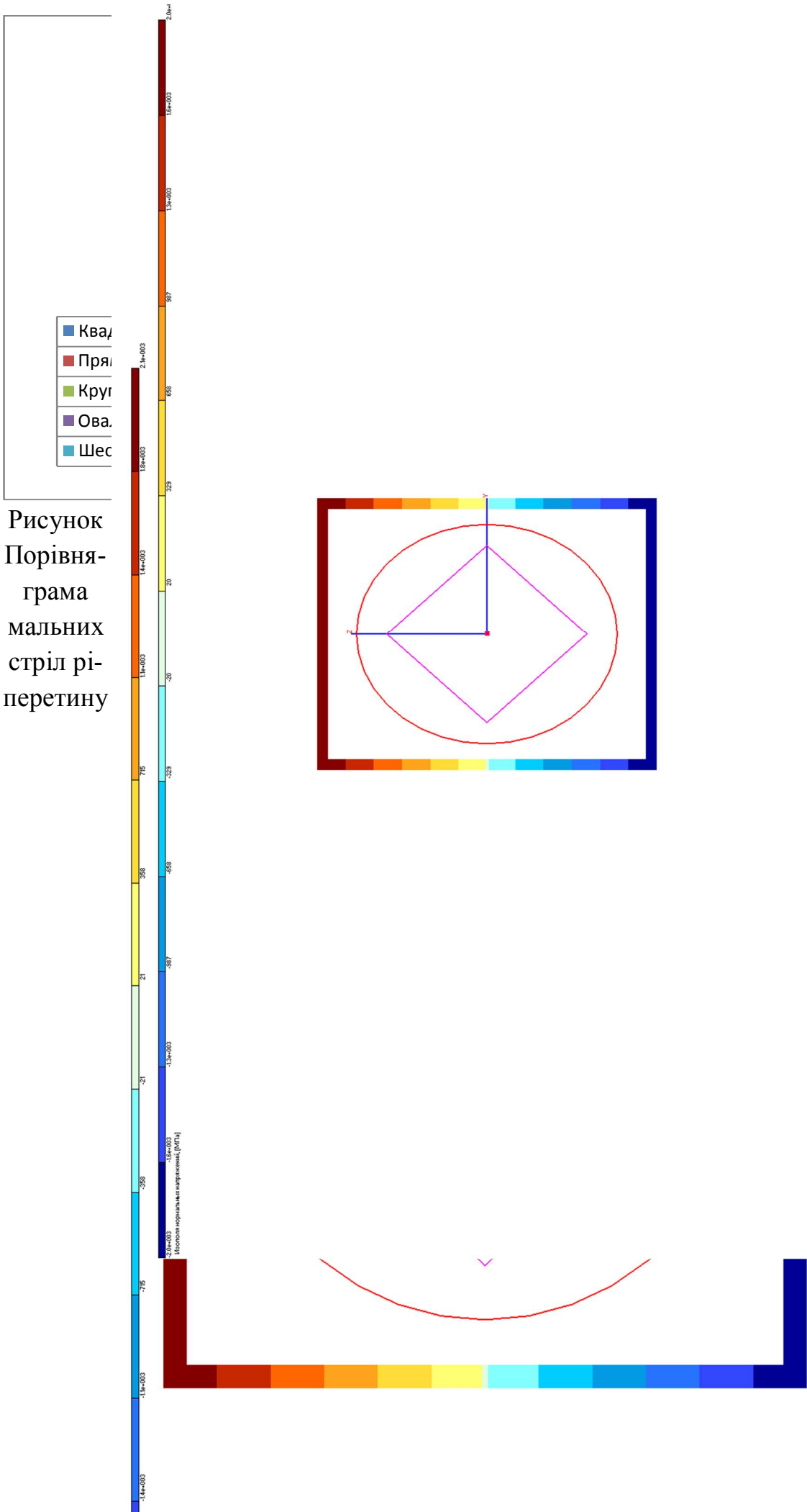


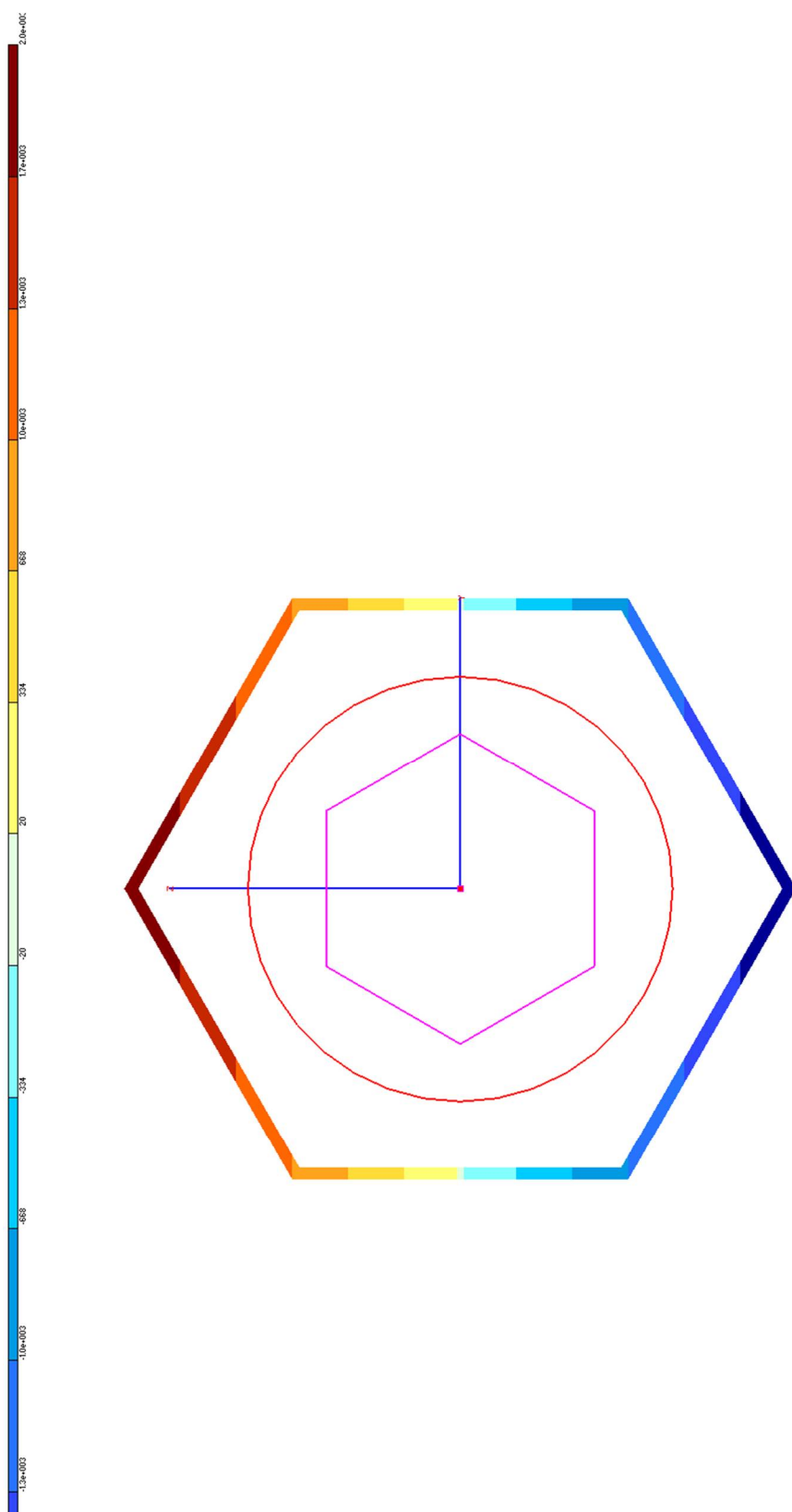
Рисунок 3.17 - Ізополя нормальних напружень для квадратної труби

Л

П

.

3



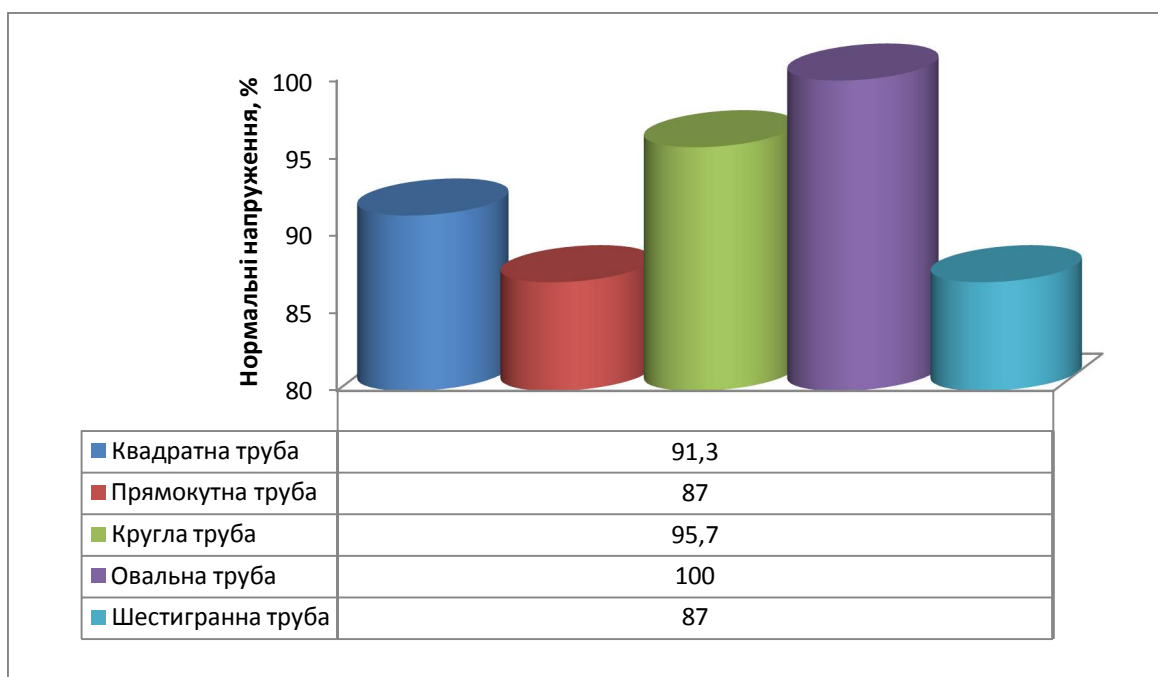


Рисунок 3.22 – Порівняльна діаграма нормальних напружень у стрілах різного перетину

Проаналізувавши дані вимірювань можемо зробити висновок, що найменші нормальні напруження виникають у стрілах з шестигранним перетином. Як було зазначено вище ці ж стріли зазнають менших прогинів. Тому робимо висновок, що для настінного крану зі змінною геометрією найвигідніше використовувати стріли виготовлені з шестигранної труби. Це забезпечить більш продуктивну і точну роботу крану, а також збільшить довговічність металоконструкції крану.

4 КОНСТРУЮВАННЯ ВІЗКА

Візок настінного крану зі змінною геометрією (рисунок 4.1) складається із двох частин – верхньої і нижньої. На рамі 1 верхнього візка розташовано механізм пересування 5 та механізм підйому 7, в склад якого входить барабан 8. Механізм підйому, який розташовано на верхньому візку призначено для піднімання-опускання вантажу коли кран працює у режимі двох окремих настінних консольних кранів. При роботі у режимі трикутної несучої конструкції роль загального механізму підйому виконує механізм, який розташовано на рамі нижнього візка 2. Механізм підйому розташований на нижньому візку має більшу потужність і розрахований на роботу з більшими вантажами. Верхня і нижня частини візків з'єднані між собою спеціальним вузлом 10, який дає можливість стрілам вільно повертатися одна відносно другої і передавати навантаження від нижньої частини візка на верхню для рівномірного навантаження верхньої і нижньої стріли. У разі необхідності стріли можуть бути легко від'єднанні одна від другої. Конструкція вузла зчеплення 10 представлена на рисунку.

Механізм пересування візка по стрілі складається із мотор-редуктора 4, ходових фрикційних катків 5 та опорних фрикційних катків 6. Мотор-редуктор (рисунок 4.2) являє собою комбінацію редуктора типу МРС та електродвигуна серії АИР, з'єднаних між собою перехідником. Вал електродвигуна, як правило, вставлено у порожнистий вхідний вал редуктора. При неможливості реалізації такої конструкції або за вимогою замовника вали з'єднуються втулково-пальцевою муфтою. Мотор-редуктор оснащено електромагнітним гальмом з безручною розфіксацією вала електродвигуна. Керування гальмом робиться або від двигуна. При цьому встановлюється гальмо послідовного включення. Редуктор типу МРС являє собою циклоїдальний редуктор. Це планетарний редуктор з епіциклоїдальним цевочним зачепленням. Для отримання значних (більше 119) передаточних чисел послідовно з'єднуються два або три одноступеневих редуктора – вихідний вал попередньої ступені становиться вхідним валом наступної.

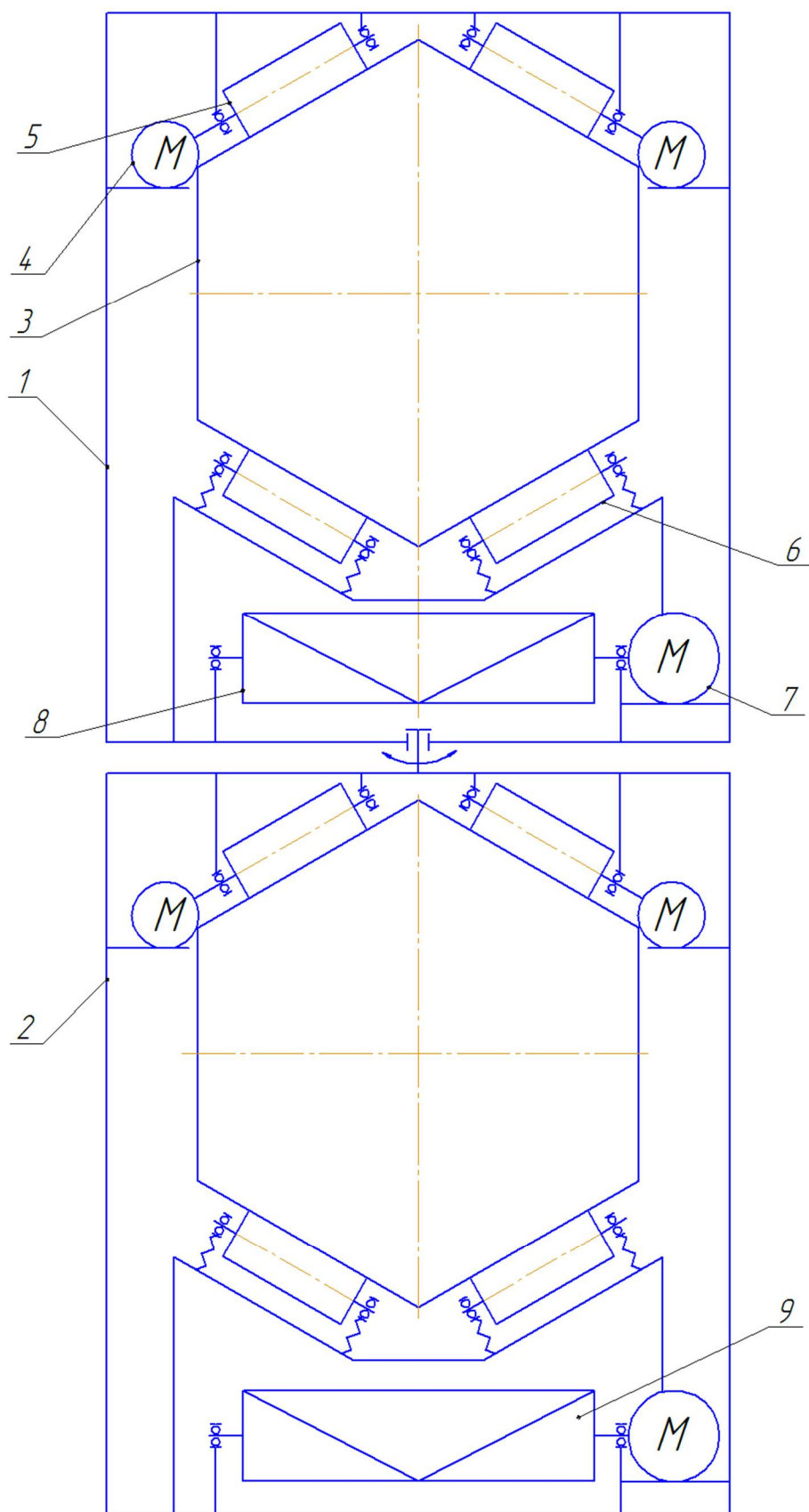


Рисунок 4.1 – Схема візка крана

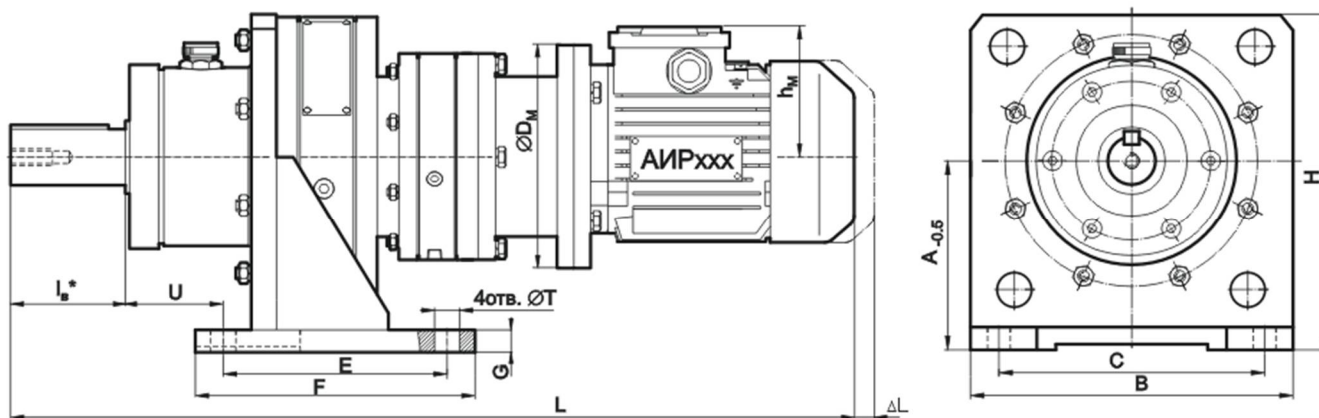


Рисунок 4.2 – Мотор-редуктор механізму пересування візка

Для поєднання верхньої і нижньої стріли, з метою отримання спільної несучої конструкції, розроблено спеціальний вузол зчеплення (рисунок 4.3). Він складається із штиря 1, нижня частина якого нерухомо з'єднана з верхньою частиною рами нижнього візка, а верхня частина входить у зачеплення з нижньою частиною верхнього візка при роботі крану у режимі трикутної несучої конструкції. При з'єднанні двох візків нижня стріла підходить до верхньої і штир заходить у прорізь в нижній частині рами верхнього візка і фіксується там за допомогою двох вилок 3. Вилки охоплюють штир, обмежуючі його можливі переміщення під час роботи крану. Штир передає навантаження на верхній візок через упорний підшипник 2 і вилки 3 на направляючі 4, які прикріплено до рами візка. Вилки 3 служать для фіксації штиря 1 при поєднанні візків у одну систему. Вилки мають гідравлічний привід, який дозволяє проводити з'єднання і від'єднання візків з малими затратами труда у автоматизованому режимі, без використання ручної праці. Схема гідравлічного привода вилок представлена на рисунку 4.4.

Висока жорсткість, здатність витримувати високу динамічне і статичне навантаження, плавність руху і повне ущільнення каретки є основними рисами роликів лінійних направляючих (рисунок 4.5), які служать для підведення вилок під підшипник при з'єднанні візків і для відведення при роз'єднанні.

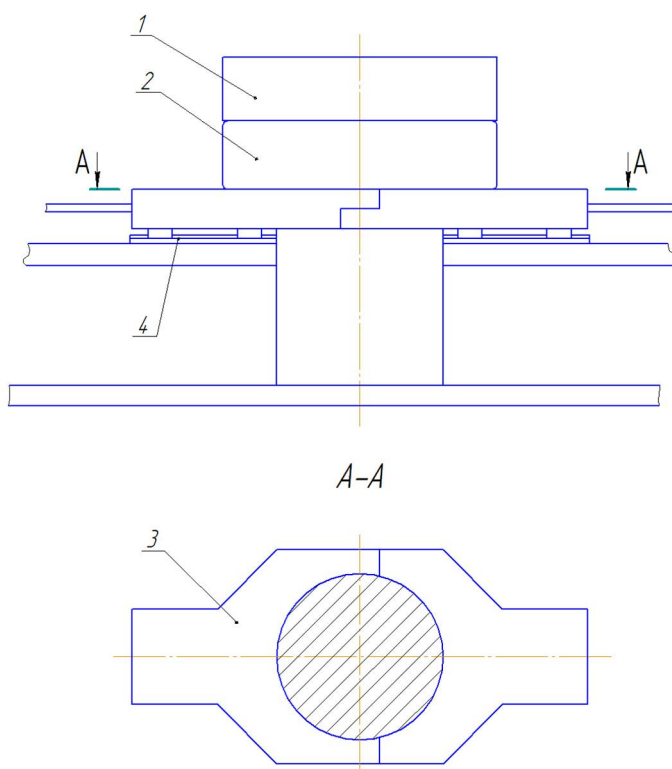


Рисунок 4.3 – Вузол зчеплення верхньої і нижньої частини візка

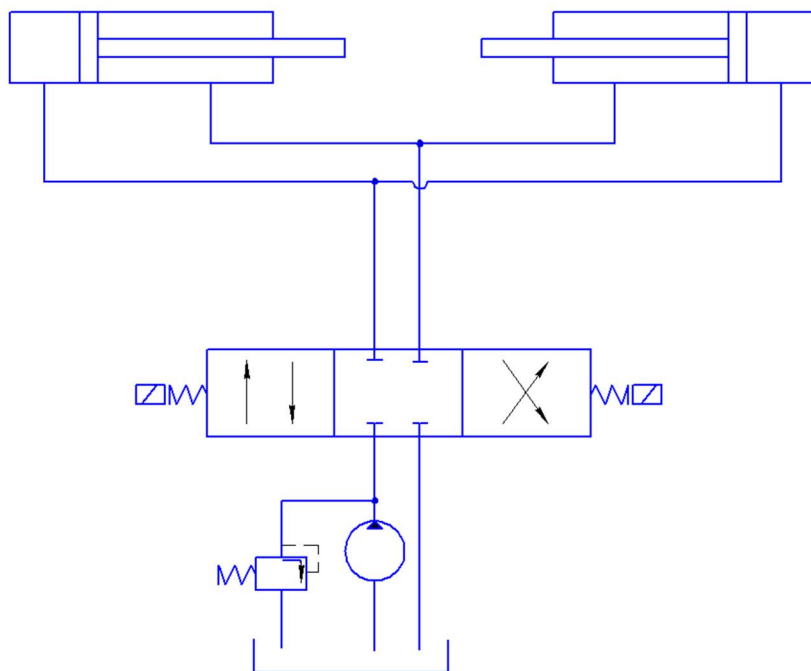


Рисунок 4.4 – Схема гідравлічного привода руху вилок

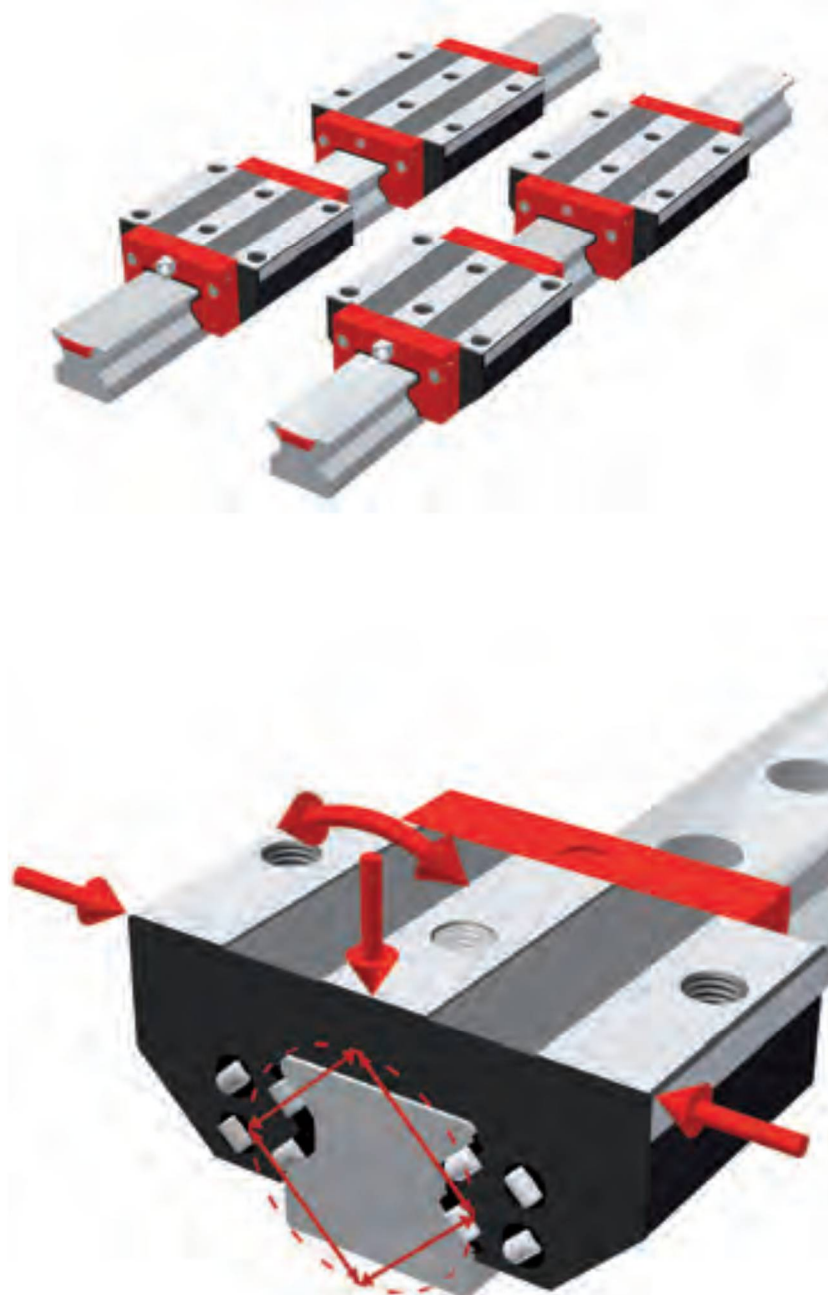


Рисунок 4.5 – Роликові лінійні направляючі

5 ОСНОВНІ ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

В розділі подано аналіз потенційних небезпек та основні заходи охорони праці, при дослідженні крана консольного настінного зі змінною геометрією.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

а) Незадовільно організоване робоче місце дослідника в приміщенні дослідницької лабораторії в наслідок невиконання умов ергономічності стосовно організації робочого місця, або захаращення зони що може призвести до зниження працездатності, або механічної травми;

б) Можливість ураження електричним струмом внаслідок порушень правил з електричної безпеки, несправності електронного споживаючого обладнання або відсутності групових засобів захисту , що може призвести до електричних травм або летального наслідку;

в) Небезпеки які можуть виникнути при визначенні експлуатаційних напружень їздової балки, які можуть призвести до виникнення тріщин у зварних швах;

г) Небезпеки які пов'язані з обробкою отриманих результатів з використанням комп'ютерної техніки; зокрема негативний вплив статичної електрики, можливість ураження електричним струмом та підвищення напруженості та інтенсивності праці.

д) Незадовільні параметри повітряного середовища в адміністративному приміщенні в наслідок не ефективної роботи систем опалення та повітря обміну , що може призвести до захворювання

е) Незадовільний рівень освітлення дослідницької лабораторії, що може бути пов'язаний виходом з ладу освітлювальних приладів або конструктивних недоліків систем загального штучного освітлення.

ж) Можливість загорань в наслідок порушень правил с пожежної безпеки, що може призвести до пожежі.

з) Небезпеки, які пов'язані з умовами праці у надзвичайних ситуаціях.

5.2 Заходи із забезпечення техніки безпеки

а) вимоги ергономіки згідно ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общеэргономические требования» при організації робочого місця проектувальника забезпечують швидкість та ефективність роботи.

Важливими моментами, які необхідно врахувати для організації робочого місця, є такі:

- робоча поза;
- конфігурація та спосіб розміщення панелей індикаторів та органів управління;
- потреба в огляді робочого місця;
- необхідність використання робочої поверхні для писання або інших робіт, установлення телефонних апаратів, іншої техніки, допоміжних засобів;
- простір для ніг та стоп при роботі сидячи.

Конструктивне рішення щодо організації робочого місця обов'язково має забезпечити оптимальність усіх зон досяжності моторного та інформаційного полів. Під інформаційним полем розуміють простір робочого місця з розміщеними засобами відображення інформації та іншими джерелами інформації, якими користується людина в процесі праці. Оптимальною зоною інформаційного поля називається та його частина, у якій забезпечується найкраще сприйняття інформації, при цьому враховують кут огляду, оскільки більшість інформації оператори сприймають очима. Рекомендуються такі параметри: кут огляду має становити $30\text{—}40^\circ$ по відношенню до горизонталі робочого місця та $0\text{—}30^\circ$ вертикальній площині по відношенню до горизонталі.

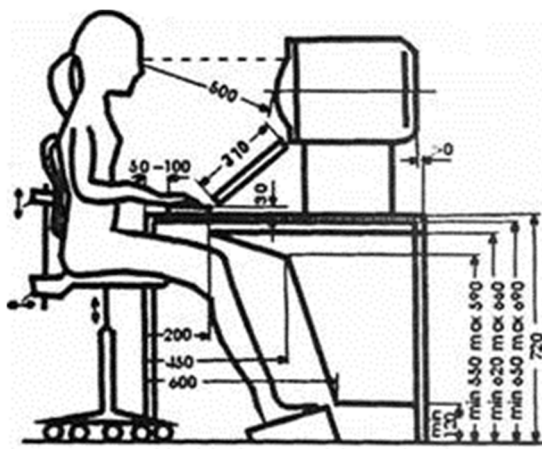


Рисунок 4.1 Робочий стіл і розміщення користувача ПК

б) Для запобігання ураження електричним струмом, передбачено: електрообладнання має відповідати ГОСТ 12.1.019-79 « Система стандартів безпеки праці. Електробезпеки. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту» та ПУЕ-2013. Експлуатацію електрообладнання та електроустановок потрібно проводити згідно з « Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів» та « Правил технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів»:

- ізоляція струмоведучих частин (робота, додаткова, посилена, подвійна) повинна відповідати ГОСТ 12.2.007-75 « Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;

- захисне відключення відповідно ГОСТ 12.2.007-75 «Системи стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки»;

- відповідність електрообладнання відповідно ГОСТ 12.2.019-79 « Система стандартів безпеки праці. Вироби електротехнічні. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту».

в) Методи виявлення тріщин у зварних швах:

- Для виявлення дефектів застосовують різні методи контролю. Якщо при контролі не порушується цілісність зварного з'єднання, то використовуваний при цьому метод відноситься до неруйнуючих методів контролю.

- До неруйнуючим методам контролю ставляться зовнішній огляд, контроль на герметичність, методи виявлення прихованих дефектів (магнітний, радіаційний, ультразвуковий), методи виявлення дефектів, що виходять на поверхню (магнітний, люмінесцентний, кольоровий).

- Зовнішній огляд виконують неозброєним оком або з використанням лупи (звичайно не більше 10 кратного збільшення), а також різного вимірювального інструмента і шаблонів.

- Контролю на герметичність піддають ємності, судини і трубопроводи. При гідравлічному випробуванні всередині ємності створюють надлишковий тиск рідини, що перевищує в 1,5-2 рази робочий тиск, і після витримки 5-10 хв оглядають з метою виявлення течі.

Хороші результати при виявленні негерметичності дає керосино-крейдова проба. Контрольовану поверхню фарбують крейдою, а з протилежного боку заготовку (або зварний шов) змащують гасом. При наявності нещільності гас проникає через дефекти розміром 0,1 мм і менше і виступає у вигляді темних плям на пофарбованій крейдою поверхні. Випробування на непроникність можуть виконуватися також пневматичним, вакуумним методами і за допомогою гелієвого детектора шукаємо.

-Магнітні методи контролю засновані на виявленні полів магнітного розсіювання, що утворюються в місцях розташування дефектів при намагнічуванні контрольованих заготовок. Досить простий метод магнітного порошку. На поверхню намагніченої (наприклад, соленоїдом) заготовки наносять залізну тирсу. Над місцем розташування дефекту створюються скупчення порошку. Цим способом можна виявити невидимі неозброєним оком поверхневі тріщини, внутрішні тріщини, що залягають не глибше 15 мм, розшарування металу, пори, включення шлаку. При індукційному методі магнітний потік у заготівлі наводять електромагнітом змінного струму, а дефекти виявляють котушкою шукача, в якій полем розсіювання створюється ЕРС, що викликає звуковий або оптичний сигнал на індикаторному пристрої.

-Радіаційні методи засновані на здатності рентгенівського і гамма-випромінювання проникати через метали. Виявлення дефектів відбувається за рахунок того, що ділянки металу з дефектами і без дефектів по-різному поглинають випромінювання. На рис. 30.2 показана схема рентгенівського просвічування зварного шва. Випускається рентгенівською трубкою випромінювання проходить через метал і фіксується на чутливій фотоплівці. У місцях, де є дефекти, на плівці утворюються більш темні плями. Чутливість методу дозволяє виявити дефекти, розміри яких становлять 1-3% товщини металу. Вид і розміри дефектів визначають порівнянням проявленої плівки з еталонними знімками.

При просвічуванні заготовок гамма-випромінюванням джерелами випромінювання служать радіоактивні ізотопи, наприклад, кобальт60. Ампулу з таким ізотопом поміщають у свинцевий контейнер

для захисту обслуговуючого персоналу. Гамма-випромінювання може проникати в метал глибше, ніж рентгенівське, і дозволяє просвічувати заготовки з товщиною металу до 300 мм.

-Ультразвуковий контроль заснований на здатності ультразвукових хвиль відбиватися від поверхні розділу двох середовищ. У дефектоскопії ультразвукові хвилі отримують у п'єзоелектричних матеріалах (кварц, сульфат літію, титанат барію та ін.) П'єзоелектричний щуп ультразвукового дефектоскопа поміщають на поверхню контрольованої заготовки та періодично у вигляді імпульсів посилають в метал спрямовані ультразвукові коливання, частота яких зазвичай перевищує 20 кГц. При зустрічі з дефектом виникає відображена ультразвукова хвиля, яка сприймається іншим щупом (а іноді тим же, що подає). Відбитий сигнал перетворюють в електричний і подають на осцилограф, на екрані якого виникає імпульс у вигляді піку. Ультразвуковий контроль дозволяє виявити дефект розміром 1-2% товщини заготовки, визначити його місцезнаходження, проте не завжди дозволяє встановити вид дефекту. Люмінесцентний метод заснований на здатності деяких речовин світитися в холодному стані під впливом освітлення, електричного струму або хімічних реакцій. Явище світіння деяких речовин під дією світлового випромінювання ультрафіолетового діапазону називається флуоресценцією. Речовини, що світяться називаються люмінофорами.

г) Персонал, що працює на комп'ютері зобов'язаний дотримуватися вимог інструкції, розробленої на підставі Санітарних норм і правил СанПин 2.2.2.542-96 «Гігієнічні вимоги до відео дисплейних терміналів, персональними електророзрахунковими машинами і організації робіт», а також нести особисту відповідальність за дотримання вимог безпеки своєї праці і за створення небезпечного чи шкідливого виробничого фактора для інших працюючих і помилку комп'ютера.

– при тривалому і інтенсивному використанні, на поверхні модулів ПК (системний блок, монітор, мишка і т.д.) виникають невеликі розряди струму. Ці частинки активізуються під час дотиків до них і призводять до виходу техніки з ладу. Потрібно регулярно використовувати нейтралізатори, зволожувачі повітря, антистатиками;

- навколо столу не повинно бути звисаючих проводів, користувач не повинен контактувати з ними;

- важлива цілісність корпусу розетки і штепсельної вилки;

- відсутність заземлення передекранного фільтра перевіряється за допомогою вимірювальних приладів.

Оскільки персональний комп'ютер має всі властивості електричного приладу, то на нього поширюються основні правила безпеки при взаємодії з провідниками струму:

- не можна розміщувати будь-які речі на проводах, а також самостійно змінювати їх розташування без особливої потреби;

- рекомендується уникати розташування рідин поруч з модулями комп'ютера;

- неприпустимо знімати корпус будь-якої із складових частин ПК під час його роботи;

- під час роботи на комп'ютері не можна одночасно торкатися до інших металевих конструкцій, які стоять на тій же поверхні. Це стосується опалювальних батарей або трубопроводів;

- при відчутті навіть незначного запаху гару, потрібно якомога швидше вимкнути ПК з мережі і звернутися до відповідального за обслуговування комп'ютерної техніки.

Щоб мінімізувати вплив при тривалому знаходженні за монітором, варто завжди запам'ятати наступні правила:

- відстань між очима користувача і екраном становить не менше 600 мм;

- клавіатура повинна встановлюватись під кутом $15^0(\pm 5)$;

- стілець розташовується таким чином, щоб тримати рівну поставу;

- кість руки повинна мати опору, для чого відстань від клавіатури до краю стола становить 100-150 мм;

- надзвичайно важлива періодична зарядка. Щогодини потрібно вставати з крісла, розминати м'язи і суглоби на протязі 10-15 хв.

Режим праці та відпочинку при роботі з комп'ютером повинні організовуватися в залежності від виду та категорії трудової діяльності.

Види трудової діяльності поділяються на 3 групи:

Група А – робота з зчитування інформації з екрана комп'ютера з попереднім запитом;

Група Б – робота з введення інформації;

Група В – творча робота в режимі діалогу.

За основу роботи з комп'ютером слід приймати таку, яка займає не менше 50 % часу протягом часу роботи комп'ютера.

Для видів трудової діяльності встановлюється 3 категорії тяжкості і напруженості роботи з комп'ютером, які визначаються:

для групи А – по сумарному числу прочитуються знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи Б – по сумарному числу зчитування або вводяться знаків за час роботи з комп'ютером, але не більше 60 000 знаків;

для групи В – по сумарному часу безпосередньої роботи з комп'ютером, але не більше 6 годин за час роботи з комп'ютером ;

Категорично забороняється використання на робочому місці електронагрівальних приладів з відкритим елементом, відкритим вогнем. Користування електронагрівальними приладами з закритими нагрівальними елементами дозволяється тільки у спеціально відведених для цього місцях. Недотримання вимог до мікроклімату приміщення може не тільки різко знижувати продуктивність праці, викликати втрати робочого часу через збільшеного числа помилок у роботі, але і проводити до функціональних розладів або хронічних захворювань органів дихання, нервової системи, імунної системи.

5.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

д) забезпечення належних параметрів повітряного середовища у адміністративних приміщеннях.

Для нормалізації параметрів повітряного середовища в проекті передбачено: устрій технічних систем, які повинні забезпечувати параметри повітряного середовища у відповідності до норм, які вказані в таблиці 1, згідно СНиП 23-01-99 «Будівельна кліматологія»

Таблиця 5.1 Оптимальні фізичні параметри повітряного середовища цеху.

Період року	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м/с
Холодний	18 - 22	40 - 60	0,1 – 0,3
Теплий	20 - 23	40 - 60	0,1 – 0,4

В теплий період року для зниження температури повітря в робочому просторі необхідно використовувати природну вентиляцію, або кондиціонування згідно СНиП 2.04.05-91 «Отопление вентиляция и кондиционирование», а в холодний період – системи водяного опалення.

е) При проведенні робіт застосовувати систему комбінованого освітлення. Освітленість при роботі повинна бути не менше 2 000 лк, що досягається за рахунок місцевого освітлення, яке передбачається конструкцією обладнання. Вимоги природного та штучного освітлення в приміщеннях повинні виконуватись згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення»

Приміщення повинні мати природне та штучне освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк, якщо ці значення неможливо забезпечити системою загального освітлення, допускається використовувати місцеве освітлення.

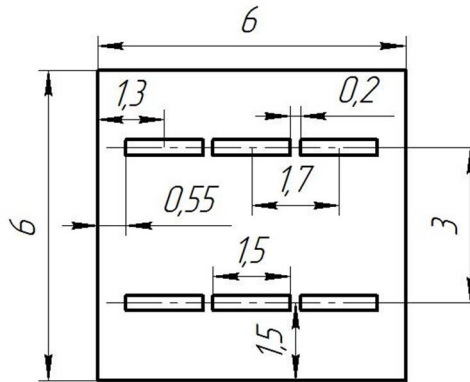


Рисунок 5.3 – Схема розміщення світильників у виробничому приміщенні.

Правильно спроектоване та виконане освітлення забезпечує можливість нормальної діяльності, зберігає зір людини, стан його центральної нервової системи. В значній мірі від умов освітленості залежить безпека та продуктивність праці.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на:

- робоче - призначене для забезпечення виробничого процесу і є обов'язковим для всіх виробничих приміщень;
- аварійне – використовується для продовження роботи у випадках відключення основного освітлення;
- евакуаційне – для забезпечення евакуації людей при аварійному відключенні робочого освітлення;
- охоронне – використовується в нічний період;
- чергове – передбачається в неробочий час.

Штучне освітлення – освітлення будинків, приміщень, споруд та створення зовнішнього освітлення за допомогою спеціальних електроосвітлювальних установок – світильників. Система загального освітлення призначена для освітлення всього приміщення.

Для виконання визначених робіт в лабораторії необхідно провести розрахунок рівномірного загального освітлення виробничого приміщення методом світлового потоку.

1) Вибір системи освітлення:

Вибір системи освітлення залежить від зорових робіт і визначається за Державними будівельними нормами України (ДБН В.2.5.-28-2006 “Природне і штучне освітлення”. Розряд зорової роботи IIIа, застосовуємо систему комбінованого освітлення.

2) Визначення рівня нормованої освітленості (E_n) проводимо за дод. А [28] в залежності від розряду зорових робіт, фону, контрасту об’єкта з фоном та системи освітлення. Приймаємо $E_n = 400$ лк.

3) Вибір джерела світла: використовуємо люмінесцентні лампи ЛБ (білого кольору 2500-2800К), тому що вони рекомендовані для приміщень висотою до 6м.

Розміри приміщення лабораторії: довжина $A = 6$ м, ширина $B = 6$ м, висота $H = 2,8$ м.

4) Вибір типу світильника проводимо з урахуванням умов навколишнього середовища, характеристики і освітлювального приміщення за вибухопожежонебезпекою. Для лабораторій, та приміщень з висотою до 5 м обираємо тип світильника ПВЛ. Коефіцієнт світильника $[L/h] = 1,5$.

5) Оцінка коефіцієнта запасу та коефіцієнта нерівномірності (мінімального) освітлення:

Коефіцієнт запасу k_z враховує зниження рівня освітленості з часом в результаті забруднення та старіння ламп, світильників і поверхонь приміщення, приймається в залежності від виробничих умов. Обираємо $k_z = 1,5$.

Коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення $z = 1,1$ – для люмінесцентних ламп.

6) Оцінка коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення:

Обирається в залежності від виділення пилу у процесі роботи.

У приміщеннях з незначним пиловиділенням $\rho_c = 50\%$ - відбиття від стелі, $\rho_{ст} = 30\%$ - відбиття від стін, $\rho_{п} = 10\%$ - відбиття від підлоги.

7) Значення індексу приміщення визначаємо за формулою:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)}, \quad (5.1)$$

де A – довжина приміщення, м;

B – ширина приміщення, м;

h – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м

$$h = H - h_p - h_3, \quad (5.2)$$

де H – висота виробничого приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні над підлогою, м;

(як правило, висота умовної робочої поверхні $h_p = 0,8$ м)

h_3 – висота звисання світильника від стелі, м.

Так як h_3 не задана, то розрахунок проводимо за формулами:

а) Розраховуємо кількість рядів світильників у приміщенні:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) * [L/h]}, \quad (5.3)$$

де $[L/h] = 1,5$ – числове значення коефіцієнта світильника.

$$N_p = \frac{6}{(2,8 - 0,8) * 1,5} = 2 \text{ ряд}$$

б) визначаємо максимально припустиму відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м} \quad (5.4)$$

в) розраховуємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} = \frac{3}{1,5} = 2 \text{ м} \quad (5.5)$$

г) знаходимо висоту звисання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h = 2,8 - 0,8 - 2 = 0 \text{ м} \quad (5.6)$$

Знаходимо чисельне значення індексу приміщення за формулою (4.1):

$$i = \frac{6 * 6}{2(6 + 6)} = 1,5$$

8) Значення коефіцієнта використання світлового потоку η обираємо в залежності від виду джерела світла, типу обраного світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення (ρ_c , $\rho_{ст}$, $\rho_{пл}$) та індексу приміщення за дод. Д [28]. Приймаємо $\eta = 40\%$.

9) Проводимо розрахунок світлового потоку лампи та загальної кількості світильників за схемою:

а) Визначаємо сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\eta}, \quad (5.7)$$

де Φ_{Σ} – розрахункове значення сумарного світлового потоку у приміщенні, лм;

E_n – нормоване значення освітленості, лк;

S – площа освітлювальної поверхні, м²;

k_3 – коефіцієнт запасу;

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η – коефіцієнт використання світлового потоку

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{0,4} = 59\,400 \text{ лк}$$

б) Визначаємо умовну загальну кількість світильників у приміщенні, виходячи з позиції розташування їх у вершинах квадрата:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} = \frac{6 \cdot 6}{3^2} = 4 \text{ світильника} \quad (5.8)$$

в) Розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{\Sigma}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{\Sigma}}, \text{ лм} \quad (5.9)$$

де N_{Σ} – загальна кількість ламп у приміщенні, шт;

$$N_{\Sigma} = N^* \cdot n = 4 \cdot 2 = 8 \text{ шт}$$

n – кількість ламп у світильнику.

$$\Phi_{\Sigma}^* = \frac{59\,400}{8} = 7\,425 \text{ лм}$$

г) Обираємо тип стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи Φ_{Σ} і розраховуємо коефіцієнт m . Тип лампи – ЛБ, $P_{\Sigma} = 80$ Вт – потужність лампи, $\Phi_{\Sigma} = 5\,400$ лм – світловий потік лампи, $L = 1,5$ м – довжина лампи.

$$m = \frac{\Phi_{\Sigma}^*}{\Phi_{\Sigma}} = \frac{7\,425}{5\,400} = 1,375 \quad (5.10)$$

д) Визначаємо оптимальну кількість ламп у приміщенні:

$$N = N_{\text{л}} \cdot m = 8 \cdot 1,375 = 11 \text{ ламп} \quad (5.11)$$

Приймаємо фактичну кількість ламп у приміщенні $N_{\text{фл}} = 12$ ламп.

10) Визначаємо загальну розрахункову освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{фл}} \cdot \eta}{S \cdot k_3 \cdot z} = \frac{5\,400 \cdot 12 \cdot 0,4}{36 \cdot 1,5 \cdot 1,1} = 436,4 \text{ лк} \quad (5.12)$$

При правильному виборі типу і кількості стандартних ламп повинна виконуватися умова:

$$E_p = (-10\% \dots +20\%) \cdot E_{\text{н}}, \text{ лк} \quad (5.13)$$

$$E_p = 360 \dots 480 \text{ лк}$$

Розрахункове значення освітленості E_p складає 436,4 лк, отже необхідна умова виконується.

11) Розраховуємо загальну потужність освітлювальної установки:

$$P_{\Sigma} = N_{\text{л}} \cdot P_{\text{л}} = 12 \cdot 80 = 960 \text{ Вт} \quad (5.14)$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

ж) Комплекс протипожежних заходів для виробничого приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ розроблений згідно вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

Виходячи з аналізу речовин та матеріалів, які використовуються при роботі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ:

- згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж» (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT) у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ можлива пожежа класів – А (що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В);

- відповідно до вимог ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпечністю», воно належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки – простір у приміщенні, у якому перебувають тверді горючі речовини та матеріали.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнане ПК з ВДТ належить до категорії «Д» з пожежної небезпеки, тому відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» воно має II ступінь вогнестійкості.

У разі виникнення пожежі у приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ для евакуації персоналу відповідно до вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» передбачені виходи, по обидві сторони приміщення, з одного боку вікно (на пожежні сходи), а з іншого – вхідні двері. Згідно п. 2.29 (табл. 2) СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания», відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу не обмежується.

Обладнання, силові та освітленні мережі приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаного ПК з ВДТ відповідають вимогам пожежної безпеки, оскільки виконані відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», та мають ступінь захисту ізоляції обладнання IP44 яка відповідає класу пожежанебезпечної зони П-Па до якої належить приміщення.

З технічних та організаційних заходів запобігання пожеж в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ передбачені наступні протипожежні заходи. На силовому обладнанні, силових та освітлювальних колах, згідно вимог пункту 3.1 «ПУЕ», встановлені захисні пристрої, що вимикають джерело живлення від ділянки електричного кола, у якій виникло коротке замикання.

Згідно вимог ДБН В.2.5-56:2014 «Системи протипожежного захисту», в приміщенні (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) обладнаному ПК з ВДТ встановлена система пожежної й охоронної сигналізації «Сигнал-ВК6».

Яка забезпечує виявлення теплових і димових ознак пожежі і місця виникнення пожежі з точністю до місця розміщення датчика.

Оскільки приміщення (дослідницької лабораторії, конструкторського бюро, тощо) що обладнане ПК з ВДТ має площу 39 м^2 , тому відповідно до вимог п. 5 розділу VI «Вибір типу та необхідної кількості вогнегасників», «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 для гасіння електроустановок, що знаходяться під напругою, передбачені вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-3,5 у кількості 2 штук (з розрахунку один вогнегасник с величиною заряду вогнегасної речовини 3 кг. і більше, на 20 м^2 площі приміщення). Додатково, на кожному поверсі будівлі, в якій розміщене приміщення обладнане ПК з ВДТ, передбачене два переносних порошкових вогнегасника – ВП-5. Відстань між вогнегасниками та місцями можливих загорянь не перевищує 10 м.

ВИСНОВКИ

В даній роботі вперше була запропонована конструкція консольного настінного крана-трансформера, тобто крана, який може працювати у двох зовсім різних режимах з різними технічними характеристиками і зонами обслуговування. Була запропонована конструкція настінного 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 настінно-поворотні крани, тобто два окремих консольних настінно-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 розроблено конструкція настінного крану, яка дозволяє отримати високу точність позиціонування робочого органу завдяки збільшенню статичної і динамічної жорсткості металоконструкції.

Було проведено дослідження максимальних вантажопідйомностей у різних точках робочої зони при роботі у різних режимах. Вантажопідйомність однострілового настінного крану менша і у значній мірі залежить від вильоту вантажу. Для трикутної несучої конструкції характерна більш стала вантажопідйомність по всій зоні обслуговування. Це значно розширює можливості виробництва на якому буде застосовано запропонований кран.

У режимі роботи крану, коли він трансформується у трикутну 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 крану. Точність позиціонування крану – 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 крану, тому що час необхідний для захоплення вантажу вантажозахоплювальним органом зменшується.

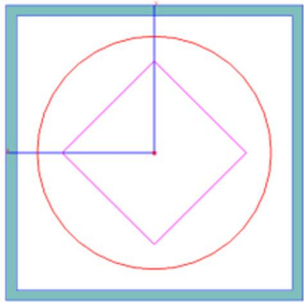
Були проведені порівняльні розрахунки стріл різного перетину. Проаналізувавши дані вимірювань робимо висновок, що найменші нормальні напруження виникають у стрілах з шестигранним перетином. Ці ж стріли зазнають менших прогинів. Тому робимо висновок, що для настінного крану зі змінною геометрією найвигідніше використовувати стріли виготовлені з шестигранної труби. Це забезпечить більш продуктивну і точну роботу крану, а також збільшить довговічність металоконструкції крану.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бучинський М. Я. Основи творення машин / М. Я. Бучинський, О. В. Горик, В. А. Черняк, Л. В. Яхін. – Харків : Видавництво «НТМТ», 2017. – 448 с.
2. Shigley J. E. Shigley's Mechanical Engineering Design / J. G. Budynas, J. K. Nisbett. – 10th ed. — McGraw-Hill Education, 2014. – 1032 p.
3. Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин : підручник / В. Т. Павлище. – 3-тє вид., допов. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 560 с.
4. Обертялев В. М. Вантажопідйомні машини : навч. посібник / В. М. Обертялев, В. А. Приходько. – Київ : НТУ, 2013. – 210 с.
5. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 45 с.
6. Шпак З. Я. Оптимізація режимів роботи технологічного обладнання / З. Я. Шпак // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Динаміка, міцність машин і приладів. – 2014. – № 799. – С. 112–117.
7. ДСТУ EN 10305-5:2014 Сталеві труби прецизійні. Технічні умови. Частина 5. Труби квадратні та прямокутні з холодним калібруванням. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 20 с..
8. ДСТУ 8939:2019 Труби сталеві профільні. Технічні умови. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 24 с.
9. Дубенець В. Г. Практикум з обчислювальної механіки. Ч. 1. Робота у системі WinMachine / В. Г. Дубенець, О. В. Савченко. – Чернігів : ЧДТУ, 2005. – 83 с..

Додаток А

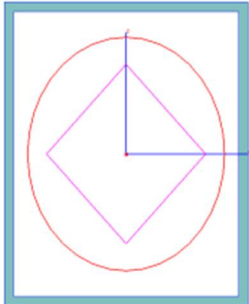
Таблица А.1 – Характеристики квадратного перетину стріли

	ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ			
	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:			
	Модуль упругости материала	E	2.1e+010	кг/м ²
	Коэффициент Пуассона материала	v	0.3	
	Модуль сдвига материала	G	8.07692e+009	кг/м ²
	Плотность материала	Ro	7850	кг/м ³
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра тяжести в системе координат UoOoVo:	Uoc	5.97463e-019	м	
	Voc	11e-003	м	
Площадь	F	67.84e-006	м ²	
Момент инерции относительно оси U	Iu	5088.9e-012	м ⁴	
Момент инерции относительно оси V	Iv	5088.9e-012	м ⁴	
Центробежный момент инерции в системе координат UOV	Iuv	5.98668e-019	м ⁴	
Габаритная ширина сечения	b	22e-003	м	
Габаритная высота сечения	h	22e-003	м	
Периметр внешнего контура	Pext	88e-003	м	
Периметр внутренних контуров	Pint	81.6e-003	м	
Угол поворота главных осей инерции	Fi	-90	°	
Главный момент инерции относительно оси Y	Iy	5088.9e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Y	Sy	269.789e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z+)	Wy+	462.627e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z-)	Wy-	462.627e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Y	Ry	8.66102e-003	м	
Интеграл по площади integral[z·(y^2+z^2)/Iy·dF]	Yi	1.33439e-008	м	
Максимальная абсцисса ядрового расстояния	Y+	6.8194e-003	м	
Минимальная абсцисса ядрового расстояния	Y-	6.81939e-003	м	
Главный момент инерции относительно оси Z	Iz	5088.9e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Z	Sz	269.785e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y+)	Wz+	462.627e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y-)	Wz-	462.628e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Z	Rz	8.66102e-003	м	
Интеграл по площади integral[y·(y^2+z^2)/Iz·dF]	Zi	-9.53807e-018	м	
Максимальная ордината ядрового расстояния	Z+	6.81939e-003	м	
Минимальная ордината ядрового расстояния	Z-	6.81939e-003	м	
КРУТИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра кручения в системе координат YOZ:	Yt	0	м	
	Zt	0	м	
Момент инерции на кручение	It	7775.87e-012	м ⁴	
Секториальный момент инерции	Iw	216.532e-018	м ⁶	
Момент сопротивления кручению	Wt	535.371e-009	м ³	

Секториальный момент сопротивления	Ww	38.1197e-012	м ⁴
СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты центра сдвига в системе координат YOZ:	Ys	0	м
	Zs	0	м
Сдвиговая площадь относительно оси Y	Fy	28.8394e-006	м ²
Сдвиговая площадь относительно оси Z	Fz	28.8396e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Y	WQy	30.0208e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Z	WQz	30.0252e-006	м ²
ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты точки пересечения нейтральных осей в системе координат YOZ:	Ypl	0	м
	Zpl	0.0377776 e-003	м
Пластический момент сопротивления относительно оси Y'	Wy,pl	539.578e-009	м ³
Пластический момент сопротивления относительно оси Z'	Wz,pl	539.57e-009	м ³
ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Осевая жесткость	EF	1424640	кг
Изгибная жесткость относительно оси Y	EIy	106,867	кг·м ²
Изгибная жесткость относительно оси Z	EIz	106,867	кг·м ²
Жесткость на кручение	GIt	62,8051	кг·м ²
Секториальная жесткость	EIw	4.54718e-006	кг·м ⁴
Сдвиговая жесткость относительно оси Y	GFy	232933	кг
Сдвиговая жесткость относительно оси Z	GFz	232935	кг
Погонная масса	g	0,532544	кг/м

Додаток Б

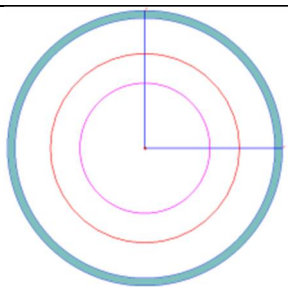
Таблица Б.1 – Характеристики прямокутного перетину стріли

	ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ			
	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:			
	Модуль упругости материала	E	2.1e+010	кг/м ²
	Коэффициент Пуассона материала	v	0.3	
	Модуль сдвига материала	G	8.07692e+009	кг/м ²
	Плотность материала	Ro	7850	кг/м ³
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра тяжести в системе координат UoOoVo:	Uoc	1.15651e-018	м	
	Voc	-2.12255e-018	м	
Площадь	F	68.3944e-006	м ²	
Момент инерции относительно оси U	Iu	6305.4e-012	м ⁴	
Момент инерции относительно оси V	Iv	4456.52e-012	м ⁴	
Центробежный момент инерции в системе координат UOV	Iuv	1.80461e-024	м ⁴	
Габаритная ширина сечения	b	20e-003	м	
Габаритная высота сечения	h	25e-003	м	
Периметр внешнего контура	Pext	90e-003	м	
Периметр внутренних контуров	Pint	83.7e-003	м	
Угол поворота главных осей инерции	Fi	0	°	
Главный момент инерции относительно оси Y	Iy	6305.4e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Y	Sy	298.702e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z+)	Wy+	504.432e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z-)	Wy-	504.432e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Y	Ry	9.60165e-003	м	
Интеграл по площади $\int z \cdot (y^2 + z^2) / I_y \cdot dF$	Yi	-2.99081e-018	м	
Максимальная абсцисса ядрового расстояния	Y+	6.51592e-003	м	
Минимальная абсцисса ядрового расстояния	Y-	6.51592e-003	м	
Главный момент инерции относительно оси Z	Iz	4456.52e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Z	Sz	255.951e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y+)	Wz+	445.652e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y-)	Wz-	445.652e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Z	Rz	8.07212e-003	м	
Интеграл по площади $\int y \cdot (y^2 + z^2) / I_z \cdot dF$	Zi	5.17143e-018	м	
Максимальная ордината ядрового расстояния	Z+	7.37534e-003	м	
Минимальная ордината ядрового расстояния	Z-	7.37534e-003	м	
КРУТИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра кручения в системе координат YOZ:	Yt	0	м	
	Zt	0	м	
Момент инерции на кручение	It	8004.5e-012	м ⁴	
Секториальный момент инерции	Iw	4643.15e-018	м ⁶	
Момент сопротивления кручению	Wt	567.777e-009	м ³	
Секториальный момент сопротивления	Ww	242.579e-012	м ⁴	

СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты центра сдвига в системе координат YOZ:	Ys	0	м
	Zs	0	м
Сдвиговая площадь относительно оси Y	Fy	24.3624e-006	м ²
Сдвиговая площадь относительно оси Z	Fz	33.7452e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Y	WQy	27.13e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Z	WQz	33.1156e-006	м ²
ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты точки пересечения нейтральных осей в системе координат YOZ:	Ypl	0	м
	Zpl	-0.0433793 е-003	м
Пластический момент сопротивления относительно оси Y'	Wy,pl	597.404e-009	м ³
Пластический момент сопротивления относительно оси Z'	Wz,pl	511.902e-009	м ³
ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Осевая жесткость	EF	1436280	кг
Изгибная жесткость относительно оси Y	EIy	132.413	кг·м ²
Изгибная жесткость относительно оси Z	EIz	93.587	кг·м ²
Жесткость на кручение	GI_t	64.6517	кг·м ²
Секториальная жесткость	EI_w	9.75061e-005	кг·м ⁴
Сдвиговая жесткость относительно оси Y	GFy	196773	кг
Сдвиговая жесткость относительно оси Z	GFz	272557	кг
Погонная масса	g	0,536896	кг/м

Додаток В

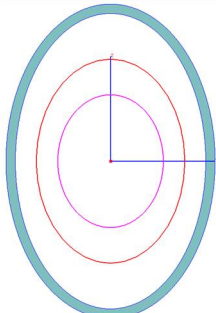
Таблица В.1 – Характеристики круглого перетину стріли

	ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ			
	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:			
	Модуль упругости материала	E	2.1e+010	кг/м ²
	Коэффициент Пуассона материала	ν	0.3	
	Модуль сдвига материала	G	8.07692e+009	кг/м ²
	Плотность материала	Ro	7850	кг/м ³
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра тяжести в системе координат UoOoVo:		Uoc	-2.32399e-018	м
		Voc	3.5751e-022	м
Площадь		F	68.3498e-006	м ²
Момент инерции относительно оси U		Iu	6325.42e-012	м ⁴
Момент инерции относительно оси V		Iv	6325.42e-012	м ⁴
Центробежный момент инерции в системе координат UOV		Iuv	5.84956e-026	м ⁴
Габаритная ширина сечения		b	28e-003	м
Габаритная высота сечения		h	28e-003	м
Периметр внешнего контура		Pext	87.961e-003	м
Периметр внутренних контуров		Pint	82.9346e-003	м
Угол поворота главных осей инерции		Fi	0	°
Главный момент инерции относительно оси Y		Iy	6325.42e-012	м ⁴
Статический момент полусечения относительно оси Y		Sy	295.948e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z+)		Wy+	451.816e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z-)		Wy-	451.816e-009	м ³
Главный радиус инерции относительно оси Y		Ry	9.62002e-003	м
Интеграл по площади $\int z \cdot (y^2 + z^2) / I_y \cdot dF$		Yi	5.09573e-019	м
Максимальная абсцисса ядрового расстояния		Y+	6.61034e-003	м
Минимальная абсцисса ядрового расстояния		Y-	6.61034e-003	м
Главный момент инерции относительно оси Z		Iz	6325.42e-012	м ⁴
Статический момент полусечения относительно оси Z		Sz	295.948e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y+)		Wz+	451.816e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y-)		Wz-	451.816e-009	м ³
Главный радиус инерции относительно оси Z		Rz	9.62002e-003	м
Интеграл по площади $\int y \cdot (y^2 + z^2) / I_z \cdot dF$		Zi	-1.88631e-019	м
Максимальная ордината ядрового расстояния		Z+	6.61034e-003	м
Минимальная ордината ядрового расстояния		Z-	6.61034e-003	м
КРУТИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра кручения в системе координат YOZ:		Yt	0	м
		Zt	0	м
Момент инерции на кручение		It	12650.8e-012	м ⁴
Секториальный момент инерции		Iw	1.32212e-026	м ⁶
Момент сопротивления кручению		Wt	907.458e-009	м ³
Секториальный момент сопротивления		Ww	3.82159e-016	м ⁴

СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты центра сдвига в системе координат YOZ:	Ys	0	м
	Zs	0	м
Сдвиговая площадь относительно оси Y	Fy	34.2265e-006	м ²
Сдвиговая площадь относительно оси Z	Fz	34.2264e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Y	WQy	33.4097e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Z	WQz	33.4075e-006	м ²
ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты точки пересечения нейтральных осей в системе координат YOZ:	Ypl	-0.0345518 e-003	м
	Zpl	0.0366459 e-003	м
Пластический момент сопротивления относительно оси Y'	Wy,pl	591.897e-009	м ³
Пластический момент сопротивления относительно оси Z'	Wz,pl	591.897e-009	м ³
ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Осевая жесткость	EF	1435350	кг
Изгибная жесткость относительно оси Y	EIy	132.834	кг·м ²
Изгибная жесткость относительно оси Z	EIz	132.834	кг·м ²
Жесткость на кручение	GIt	102.18	кг·м ²
Секториальная жесткость	EIw	2.77646e-016	кг·м ⁴
Сдвиговая жесткость относительно оси Y	GFy	276444	кг
Сдвиговая жесткость относительно оси Z	GFz	276444	кг
Погонная масса	g	0.536546	кг/м

Додаток Г

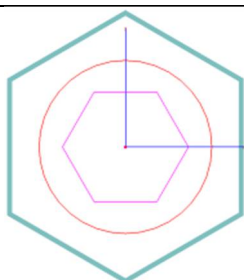
Таблица Г.1 – Характеристики еліптичного перетину стріли

	ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ			
	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:			
	Модуль упругости материала	E	2.1e+010	кг/м ²
	Коэффициент Пуассона материала	ν	0.3	
	Модуль сдвига материала	G	8.07692e+009	кг/м ²
	Плотность материала	Ro	7850	кг/м ³
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра тяжести в системе координат UoOoVo:		Uoc	1.84275e-009	м
		Voc	7.3784e-020	м
Площадь		F	68.1299e-006	м ²
Момент инерции относительно оси U		Iu	6470.09e-012	м ⁴
Момент инерции относительно оси V		Iv	3434.71e-012	м ⁴
Центробежный момент инерции в системе координат UOV		Iuv	-1.14606e-026	м ⁴
Габаритная ширина сечения		b	20e-003	м
Габаритная высота сечения		h	30e-003	м
Периметр внешнего контура		Pext	79.3239e-003	м
Периметр внутренних контуров		Pint	73.7307e-003	м
Угол поворота главных осей инерции		Fi	0	°
Главный момент инерции относительно оси Y		Iy	6470.09e-012	м ⁴
Статический момент полусечения относительно оси Y		Sy	293.813e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z+)		Wy+	431.339e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z-)		Wy-	431.339e-009	м ³
Главный радиус инерции относительно оси Y		Ry	9.7451e-003	м
Интеграл по площади $\int z \cdot (y^2 + z^2) / I_y \cdot dF$		Yi	-5.06059e-009	м
Максимальная абсцисса ядрового расстояния		Y+	5.04141e-003	м
Минимальная абсцисса ядрового расстояния		Y-	5.04141e-003	м
Главный момент инерции относительно оси Z		Iz	3434.71e-012	м ⁴
Статический момент полусечения относительно оси Z		Sz	221.531e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y+)		Wz+	343.471e-009	м ³
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y-)		Wz-	343.471e-009	м ³
Главный радиус инерции относительно оси Z		Rz	7.10029e-003	м
Интеграл по площади $\int y \cdot (y^2 + z^2) / I_z \cdot dF$		Zi	-1.3782e-019	м
Максимальная ордината ядрового расстояния		Z+	6.33113e-003	м
Минимальная ордината ядрового расстояния		Z-	6.33113e-003	м
КРУТИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра кручения в системе координат YOZ:		Yt	0	м
		Zt	0	м
Момент инерции на кручение		It	8879.79e-012	м ⁴
Секториальный момент инерции		Iw	6681.14e-018	м ⁶
Момент сопротивления кручению		Wt	741.857e-009	м ³
Секториальный момент сопротивления		Ww	412.585e-012	м ⁴

СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты центра сдвига в системе координат YOZ:	Ys	0	м
	Zs	0	м
Сдвиговая площадь относительно оси Y	Fy	23.1584e-006	м ²
Сдвиговая площадь относительно оси Z	Fz	43.9111e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Y	WQy	26.2532e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Z	WQz	39.0584e-006	м ²
ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты точки пересечения нейтральных осей в системе координат YOZ:	Ypl	0.0261735 e-003	м
	Zpl	0.0369076 e-003	м
Пластический момент сопротивления относительно оси Y'	Wy,pl	587.627e-009	м ³
Пластический момент сопротивления относительно оси Z'	Wz,pl	443.063e-009	м ³
ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Осевая жесткость	EF	1430730	кг
Изгибная жесткость относительно оси Y	EIy	135.872	кг·м ²
Изгибная жесткость относительно оси Z	EIz	72.1289	кг·м ²
Жесткость на кручение	GIt	71.7214	кг·м ²
Секториальная жесткость	EIw	1.40304e-004	кг·м ⁴
Сдвиговая жесткость относительно оси Y	GFy	187049	кг
Сдвиговая жесткость относительно оси Z	GFz	354667	кг
Погонная масса	g	0.53482	кг/м

Додаток Д

Таблица Д.1 – Характеристики шестигранного перетину стріли

	ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЧЕНИЯ			
	Наименование	Обозначение	Значение	Ед.изм.
	ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:			
	Модуль упругости материала	E	2.1e+0010	кг/м ²
	Коэффициент Пуассона материала	v	0.3	
	Модуль сдвига материала	G	8.07692e+009	кг/м ²
	Плотность материала	Ro	7850	кг/м ³
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра тяжести в системе координат UoOoVo:	Uoc	15.5817e-003	м	
	Voc	17.9884e-003	м	
Площадь	F	68.6765e-006	м ²	
Момент инерции относительно оси U	Iu	8877.16e-012	м ⁴	
Момент инерции относительно оси V	Iv	8877.15e-012	м ⁴	
Центробежный момент инерции в системе координат UOV	Iuv	-4.89559e-016	м ⁴	
Габаритная ширина сечения	B	31.1635e-003	м	
Габаритная высота сечения	h	35.9767e-003	м	
Периметр внешнего контура	Pext	107.975e-003	м	
Периметр внутренних контуров	Pint	103.403e-003	м	
Угол поворота главных осей инерции	Fi	0	°	
Главный момент инерции относительно оси Y	Iy	8877.16e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Y	Sy	352.77e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z+)	Wy+	493.495e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Y (Z-)	Wy-	493.495e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Y	Ry	11.3693e-003	м	
Интеграл по площади $\int z \cdot (y^2 + z^2) / I_y \cdot dF$	Yi	-2.65439e-008	м	
Максимальная абсцисса ядрового расстояния	Y+	8.29564e-003	м	
Минимальная абсцисса ядрового расстояния	Y-	8.29565e-003	м	
Главный момент инерции относительно оси Z	Iz	8877.16e-012	м ⁴	
Статический момент полусечения относительно оси Z	Sz	349.159e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y+)	Wz+	569.716e-009	м ³	
Момент сопротивления изгибу относительно оси Z (Y-)	Wz-	569.715e-009	м ³	
Главный радиус инерции относительно оси Z	Rz	11.3693e-003	м	
Интеграл по площади $\int y \cdot (y^2 + z^2) / I_z \cdot dF$	Zi	-4.57802e-009	м	
Максимальная ордината ядрового расстояния	Z+	7.18578e-003	м	
Минимальная ордината ядрового расстояния	Z-	7.18579e-003	м	
КРУТИЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:				
Координаты центра кручения в системе координат YOZ:	Yt	0	м	
	Zt	0	м	
Момент инерции на кручение	It	16134.7e-012	м ⁴	
Секториальный момент инерции	Iw	92.3689e-018	м ⁶	
Момент сопротивления кручению	Wt	938.094e-009	м ³	
Секториальный момент сопротивления	Ww	22.0838e-012	м ⁴	

СДВИГОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты центра сдвига в системе координат YOZ:	Ys	0	м
	Zs	0	м
Сдвиговая площадь относительно оси Y	Fy	31.7811e-006	м ²
Сдвиговая площадь относительно оси Z	Fz	31.7739e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Y	WQy	29.4623e-006	м ²
Момент сопротивления сдвигу относительно оси Z	WQz	32.4905e-006	м ²
ПЛАСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Координаты точки пересечения нейтральных осей в системе координат YOZ:	Ypl	0	м
	Zpl	0	м
Пластический момент сопротивления относительно оси Y'	Wy,pl	705.54e-009	м ³
Пластический момент сопротивления относительно оси Z'	Wz,pl	698.317e-009	м ³
ЖЕСТКОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:			
Осевая жесткость	EF	1442210	кГ
Изгибная жесткость относительно оси Y	EIy	186.42	кГ·м ²
Изгибная жесткость относительно оси Z	EIz	186.42	кГ·м ²
Жесткость на кручение	GIt	130.318	кГ·м ²
Секториальная жесткость	EIw	1.93975e-006	кГ·м ⁴
Сдвиговая жесткость относительно оси Y	GFy	256694	кГ
Сдвиговая жесткость относительно оси Z	GFz	256635	кГ
Погонная масса	g	0.539111	кГ/м