

Будівельний факультет
Кафедра будівельної механіки

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:

**Дослідження напружено-деформованого стану стержневої
стрілової конструкції з урахуванням руху вантажу**

Паламарчук Дмитро Анатолійович

Факультет: будівельний
Випускова кафедра: будівельної механіки
Ступінь вищої освіти: магістр
Спеціальність: 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітня програма: Промислове і цивільне будівництво

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
д. т. н., професор Лізунов Петро Петрович
« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР

Паламарчук Дмитро Анатолійович
(прізвище, ім'я та по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження напружено-деформованого стану стержневої стрілової конструкції з урахуванням руху вантажу»
затверджена наказом ректора КНУБА № 2465/2 від «21» листопада 2024 року

2. Керівник роботи

Лук'янченко Ольга Олексіївна, доктор технічних наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Термін подання здобувачем роботи до захисту: 16 грудня 2024 року

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

- P1. Аналіз конструкцій кранів та задачі дослідження.
- P2. Опис аналітичної моделі досліджуваного об'єкта.
- P3. Фізична модель досліджуваного об'єкта.
- P4. Результати експериментальних досліджень.
- P5. Розрахунок напружено-деформованого стану у ланках стрілової системи.

5. Графічний матеріал за розділами:

- P1. Аналіз конструкцій кранів, їх поломок та задачі дослідження.
- P2. Опис аналітичної моделі досліджуваного об'єкта.
- P3. Фізична модель досліджуваного об'єкта.
- P4. Результати експериментальних досліджень.

P5. Розрахунок напружено-деформованого стану у ланках стрілової системи

6. Консультанти розділів кваліфікаційної випускної роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		Дата	Підпис
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			
Розділ 5			

7. Календарний план виконання роботи

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1	07.10.2024
Розділ 2	14.10.2024
Розділ 3	21.10.2024
Розділ 4	28.10.2024
Розділ 5	04.11.2024
Остаточне оформлення роботи	18.11.2024
Направлення роботи для перевірки на плагіат	25.11.2024
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	10.12.2024
Направлення роботи на рецензування	12.12.2024

8. Дата видачі завдання «03» жовтня 2024 року

Керівник

_____ (підпис)

Лук'янченко О. О.
(прізвище та ініціали)

Здобувач

_____ (підпис)

Паламарчук Д. А.
(прізвище та ініціали)

КРАНИ ІЗ ШАРІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОЮ СТРІЛОВОЮ СИСТЕМОЮ



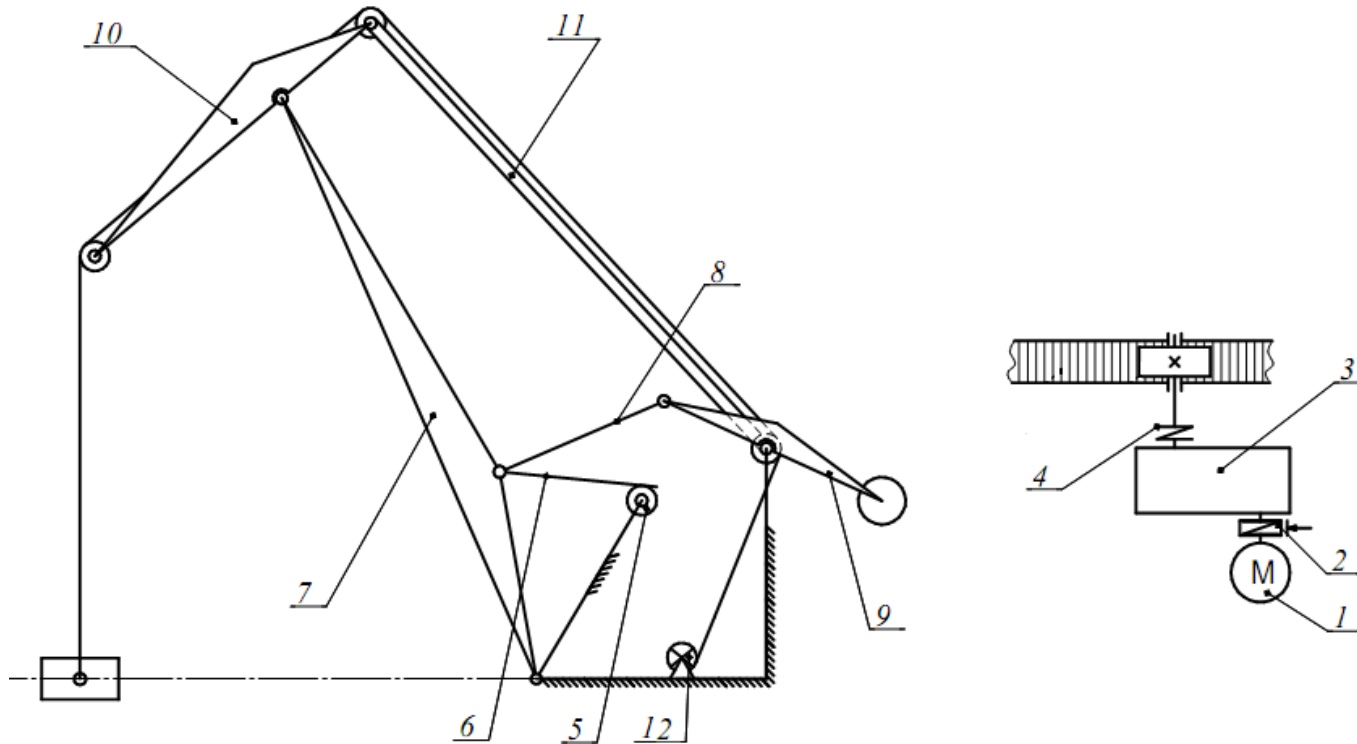
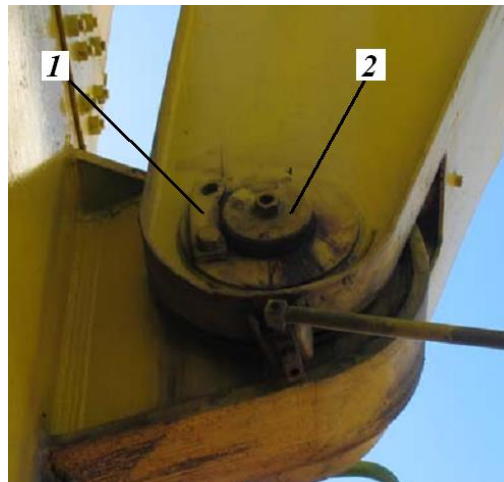


Схема шарнірно-зчленованої стрілової системи із рейковим механізмом зміни вильоту:

1 – електродвигун; 2 – гальмо; 3 – редуктор; 4 – запобіжна муфта; 5 – приводна шестерня; 6 – зубчаста рейка; 7 – стріла; 8 – тяга; 9 – кронштейн із противагою; 10 – хобот; 11 – відтяжка; 12 – механізм підйому вантажу.

НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ РОЗГОЙДУВАНЬ ВАНТАЖУ

5



ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ:

шарнірно-зчленована стрілова система крана із вантажем на гнучкому підвісі

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ:

Напружено-деформований стан ланок врівноваженої шарнірно-зчленованої стрілової системи при усталеному русі вантажу

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ:

методи теоретичної механіки, будівельної механіки, варіаційного, диференціального та інтегрального числення, метод скінченних елементів та методів математичного моделювання і статистики

Рівняння руху стрілової системи натурального крана:

$$J_{0i} \frac{d\omega_i}{d\alpha_i} + \frac{1}{2} \frac{\partial J_{0i}}{\partial \alpha_i} \omega_i = \frac{M_i \frac{\partial \varphi_{6i}}{\partial \alpha_i}}{\omega_i} - \frac{m_{1i} g \frac{\partial y_{1i}}{\partial \alpha_i}}{\omega_i} - \frac{m_{2i} g \frac{\partial y_{2i}}{\partial \alpha_i}}{\omega_i} - \frac{m_{3i} g \frac{\partial y_{3i}}{\partial \alpha_i}}{\omega_i} - \frac{m_{4i} g \frac{\partial y_{4i}}{\partial \alpha_i}}{\omega_i} - \frac{m_i g \frac{\partial y_i}{\partial \alpha_i}}{\omega_i}.$$

Зведений момент інерції стрілової системи натурального крана:

$$J_{0H} = J_{1H} + m_{2H} \left[\left(\frac{\partial x_{2H}}{\partial \alpha_H} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_{2H}}{\partial \alpha_H} \right)^2 \right] + J_{2H} \left(\frac{\partial \varphi_{2H}}{\partial \alpha_H} \right)^2 + J_{3H} \left(\frac{\partial \varphi_{3H}}{\partial \alpha_H} \right)^2 + J_{4H} \left(\frac{\partial \varphi_{4H}}{\partial \alpha_H} \right)^2 +$$

$$+ m_H \left[\left(\frac{\partial x_H}{\partial \alpha_H} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_H}{\partial \alpha_H} \right)^2 \right] + J_{6H} \left(\frac{\partial \varphi_{6H}}{\partial \alpha_H} \right)^2.$$

Рівняння руху стрілової системи моделі крана:

$$J_{0M} \frac{d\omega_M}{d\alpha_M} + \frac{1}{2} \frac{\partial J_{0M}}{\partial \alpha_M} \omega_M = \frac{M_M \frac{\partial \varphi_{6M}}{\partial \alpha_M}}{\omega_M} - \frac{m_{1M} g \frac{\partial y_{1M}}{\partial \alpha_M}}{\omega_M} - \frac{m_{2M} g \frac{\partial y_{2M}}{\partial \alpha_M}}{\omega_M} - \frac{m_{3M} g \frac{\partial y_{3M}}{\partial \alpha_M}}{\omega_M} - \frac{m_{4M} g \frac{\partial y_{4M}}{\partial \alpha_M}}{\omega_M} - \frac{m_M g \frac{\partial y_M}{\partial \alpha_M}}{\omega_M}.$$

Зведений момент інерції стрілової системи моделі крана:

$$J_{0M} = J_{1M} + m_{2M} \left[\left(\frac{\partial x_{2M}}{\partial \alpha_M} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_{2M}}{\partial \alpha_M} \right)^2 \right] + J_{2M} \left(\frac{\partial \varphi_{2M}}{\partial \alpha_M} \right)^2 + J_{3M} \left(\frac{\partial \varphi_{3M}}{\partial \alpha_M} \right)^2 + J_{4M} \left(\frac{\partial \varphi_{4M}}{\partial \alpha_M} \right)^2 +$$

$$+ m_M \left[\left(\frac{\partial x_M}{\partial \alpha_M} \right)^2 + \left(\frac{\partial y_M}{\partial \alpha_M} \right)^2 \right] + J_{6M} \left(\frac{\partial \varphi_{6M}}{\partial \alpha_M} \right)^2.$$

ВИБІР КРИТЕРІЇВ ПОДІБНОСТІ МОДЕЛІ

9

Система рівнянь для визначення коефіцієнтів подібності:

$$\begin{cases} \lambda_J \frac{\lambda_\omega}{\lambda_\alpha} = \frac{\lambda_M}{\lambda_\omega}; \\ \lambda_J \frac{\lambda_\omega}{\lambda_\alpha} = \frac{\lambda_m \lambda_y}{\lambda_\alpha \lambda_\omega}; \\ \frac{\lambda_M}{\lambda_\omega} = \frac{\lambda_m \lambda_y}{\lambda_\alpha \lambda_\omega}. \end{cases}$$

$$\lambda_m = \frac{m_H}{m_M} = \frac{12650}{10,540} = 1200$$

$$\lambda_\alpha = 1$$

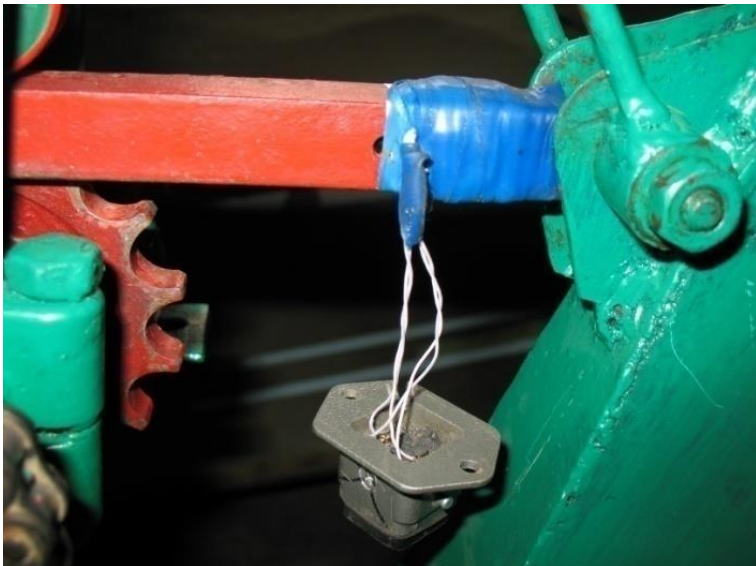
$$\lambda_y = \frac{L_H}{L_M} = \frac{25760}{1610} = 16$$

$$\lambda_J = \lambda_m \frac{\lambda_y^2}{\lambda_\alpha^2} = 1200 \frac{16^2}{1^2} = 307200.$$

$$\lambda_\omega = \sqrt{\frac{\lambda_m \lambda_y}{\lambda_J}} = \sqrt{\frac{1200 \cdot 16}{307200}} = 0,25$$



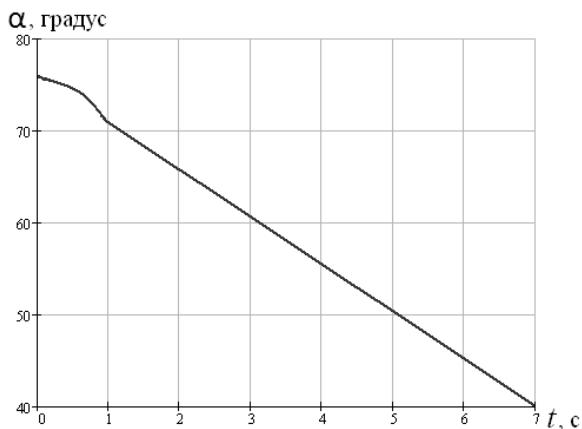
ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ



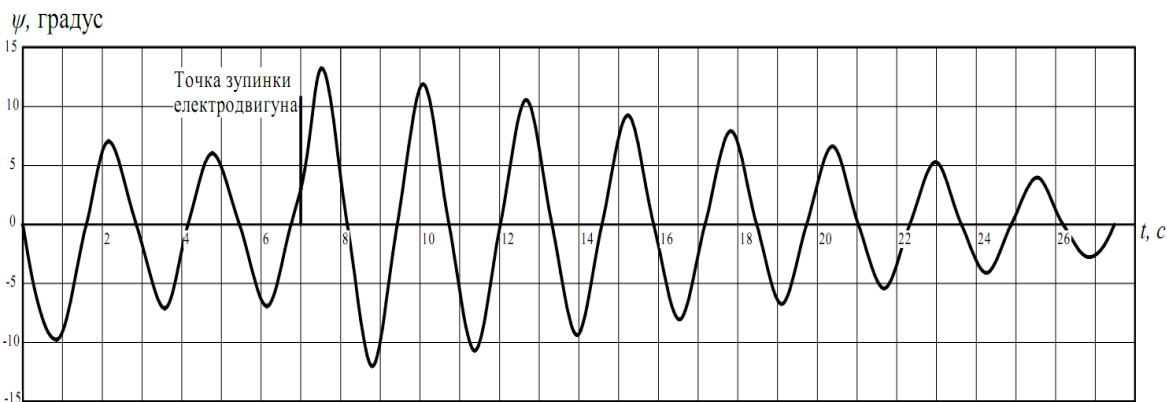
ТАБЛИЦЯ ПОРІВНЯННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕЛІ І РЕАЛЬНОГО КРАНА

Характеристики	Параметри натурної стрілової системи	Параметри моделі стрілової системи
Кут нахилу стріли, градус	40...76	40...76
Виліт стрілової системи , м	22	1,4
Середня кутова швидкість стріли, рад/с	0,024	0,096
Середній час зміни вильоту , с	22,86	7,0
Довжина, м:		
–стріли	25,76	1,61
–хобота	10,16	0,635
–контрхобота	2,51	0,157
–відтяжки	21,33	1,333
–підвісу вантажу	14,7	0,919
Середня швидкість горизонтального переміщення вантажу , м/с	1,05	0,2
Ділильний діаметр шестерні рейкового механізму , м	0,35	0,09
Загальне передаточне число механізму зміни вильоту	212	178,1
Середня кутова швидкість шестерні рейкового механізму , рад/с	0,482	0,811
Потужність електродвигуна механізму зміни вильоту , кВт	20	0,18

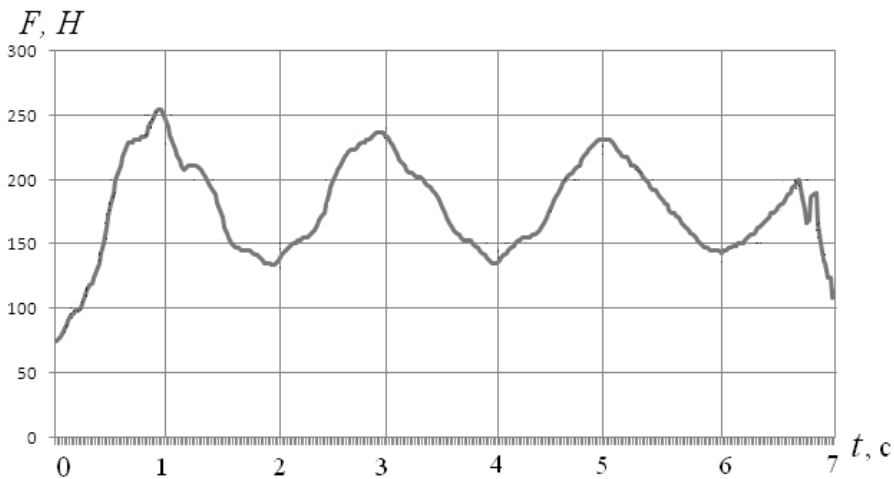
Кут нахилу стріли



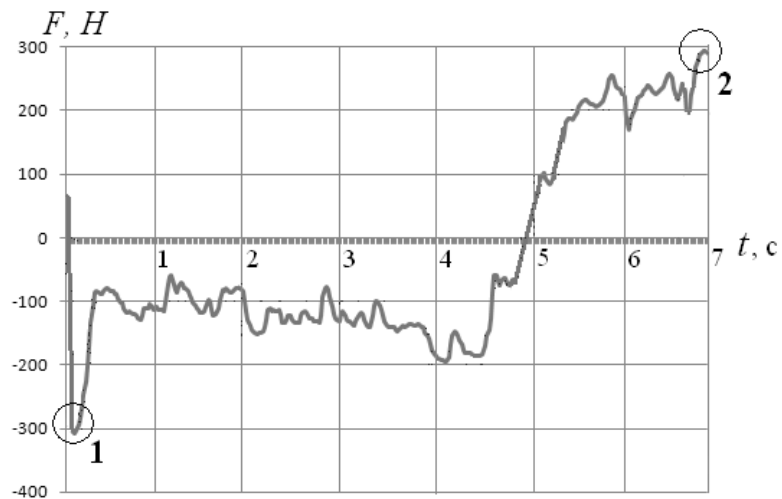
Кут відхилення вантажного каната від вертикалі

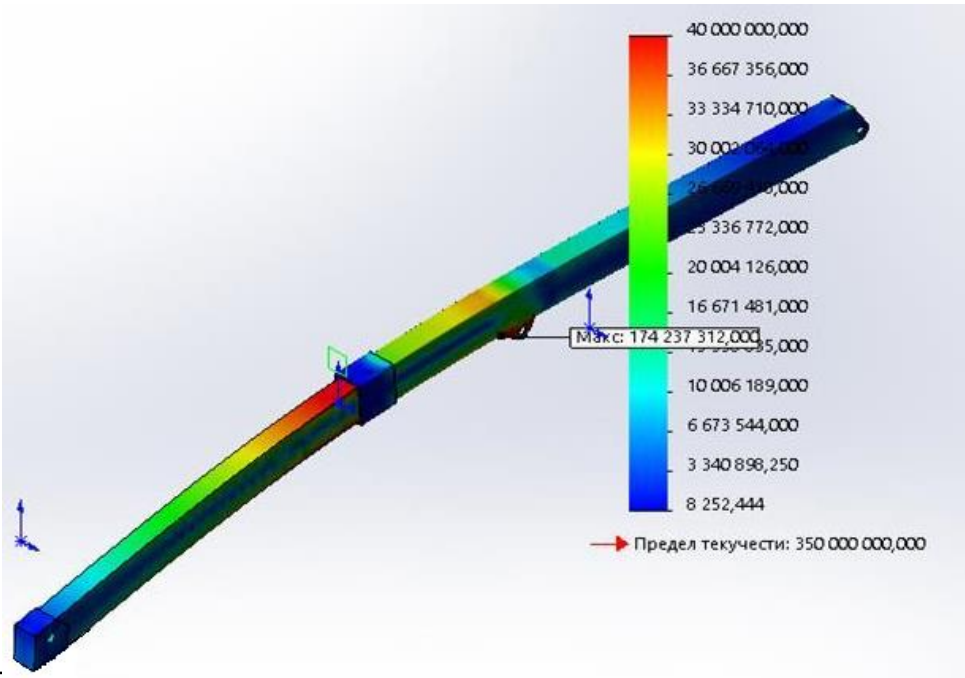
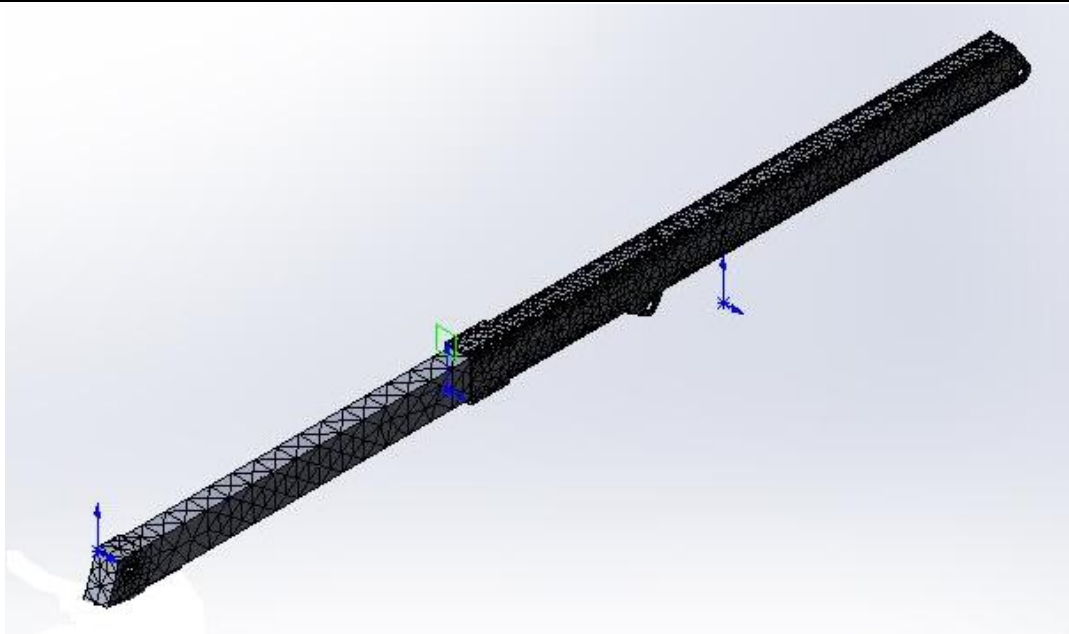


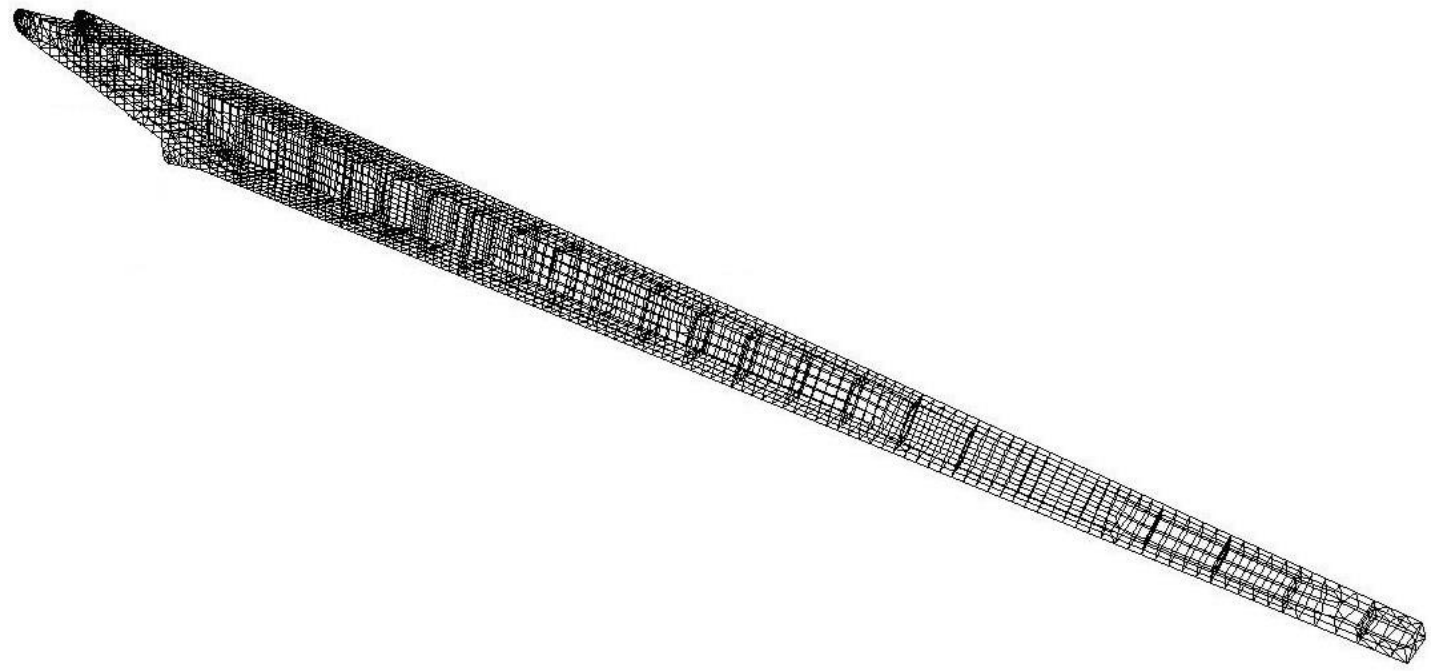
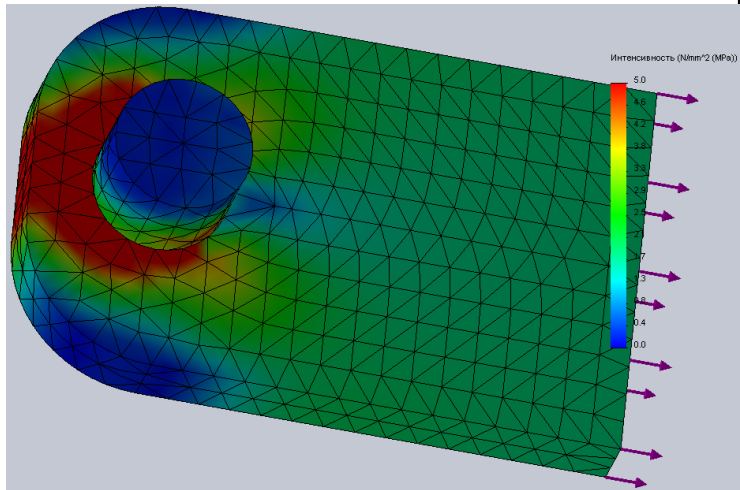
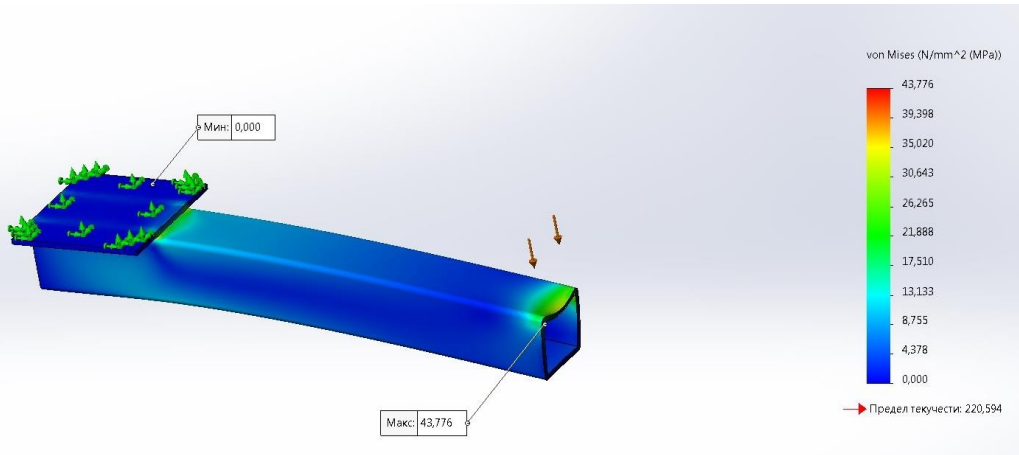
Зусилля у відтяжці



Зусилля у рейці







У роботі наведено теоретичне обґрунтування та вирішення науково-практичної задачі, яка базується на теоретичному та експериментальному дослідженні внутрішніх зусиль в металокопструкції ланок стрілової системи. Для вирішення поставлених задач було виконано наступні питання.

1. Здійснено аналіз копструкцій шарнірно-зчленованих стрілових систем та їх приводів. Було виявлено найбільш поширені копструкції механізму зміни вильоту.
2. Проаналізовано фактори зовнішнього впливу, що призводять до пошкоджень металокопструкції крана та окремих її елементів. Виявлено причини, що впливають на зменшення ресурсу металокопструкції крана.
3. Розроблена та виготовлена фізична модель стрілової системи крана. Для забезпечення збіжності експериментальних досліджень модель виготовлена з урахуванням коефіцієнтів подібності до реальної стрілової системи крана МАРК 40/
4. Встановлено, що процес затухання коливань вантажу триває понад 21с, що втричі перевищує час руху моделі стрілової системи від мінімального значення вильоту до максимального.
5. Експериментально визначено внутрішні зусилля у зубчастій рейці та відтяжці. Вони змінюються в межах від -303,34 до 291,82 H – для приводної рейки та від 74,56 до 253,09 H – для відтяжки.
6. Здійснено аналітичний розрахунок достовірності експерименту та виявлено, що результати експерименту є збіжними і такими, яким можна довіряти.
7. Визначено вітрові навантаження, що діють на металокопструкцію стрілової системи крана.
8. Побудовано квазістатичну модель для аналітичного дослідження внутрішніх напружень у металокопструкції ланок стрілової системи.
9. За допомогою методу скінченних елементів проведено розрахунок внутрішнього напруження у хоботі та елементах відтяжки. Встановлено, що максимальне напруження не перевищує допустиме значення.
10. Для металокопструкції рейки проведено дослідження знакозмінного навантаження та визначено ресурс роботи.
11. Перевірено стійкість крана у критичних положеннях: з вантажем при максимальному вильоті, без вантажу – при мінімальному. Стійкість забезпечена у обох випадках.