

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з дисципліни
«Вантажопідйомні машини»

Розглянуто і схвалено
на засіданні кафедри підйомно-
транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Краматорськ 2019

УДК 621.86

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Вантажо-підйомні машини» Укл.: М.Ю. Дорохов. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – 28 с.

Містять необхідні теоретичні положення, правила з техніки безпеки, перелік устаткування, контрольні питання, вимоги до оформлення звітів. Викладено основи методики дослідження механізмів підйомно-транспортних машин за допомогою сучасних засобів.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри підйомно-транспортних машин
Протокол № 8 від 18 квітня 2019 р.

Електронне навчальне видання

Укладач: М.Ю. Дорохов, доцент

ЗМІСТ

1 Лабораторна робота 1. Визначення режимної групи вантажопідйомного крану та кранового механізму.....	4
1.1 Мета роботи	4
1.2 Основні теоретичні відомості	4
1.3 Послідовність розрахунку режимної групи крану	4
1.4 Послідовність розрахунку режимної групи кранового механізму.....	6
1.5 Лабораторне обладнання.	8
1.6 Послідовність виконання роботи.	9
1.7 Зміст звіту.....	10
1.8 Контрольні питання	10
2 Лабораторна робота 2. Вивчення напружень в горизонтальному перерізі зігнутої частини однорогого гака	11
2.1 Мета роботи	11
2.2 Основні теоретичні відомості	11
2.3 Лабораторне обладнання	13
2.4 Послідовність виконання роботи.....	14
2.5 Зміст звіту.....	15
2.6 Контрольні питання	15
3 Лабораторна робота 3. Дослідження сил закріплення каната на барабані притискними планками	16
3.1 Мета роботи	16
3.2 Основні теоретичні відомості	16
3.3 Лабораторне обладнання.....	18
3.4 Послідовність виконання роботи	19
3.5 Зміст звіту.....	20
3.6 Контрольні питання	20
4 Лабораторна робота 4. Вивчення параметрів несталого руху кранового механізму.....	20
4.1 Мета роботи	20
4.2 Основні теоретичні відомості	20
4.3 Лабораторне обладнання.....	24
4.4 Послідовність виконання роботи.....	24
4.5 Зміст звіту.....	26
4.6 Контрольні питання	26
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	28

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Визначення режимної групи вантажопідйомного крану та кранового механізму

1.1 Мета роботи

Вивчити методику та практичне визначення режимної групи крану і кранового механізму згідно міжнародному стандарту ISO 4301/1–86.

1.2 Основні теоретичні відомості

Класифікація є системою, яку використовують як апарат встановлення раціональної основи проектування конструкцій і механізмів. Стандарт встановлює класифікацію кранів на основі числа робочих циклів, виконуваних протягом очікуваного терміну їх служби і коефіцієнту розподілу навантаження, що представляє номінальний режим навантаження.

Група класифікації (режиму роботи) кранів у цілому визначається залежно від класу використання ($U_0 - U_9$), що характеризується величиною максимального числа циклів за заданий термін служби, та режиму навантаження ($Q1 - Q4$).

Група класифікації (режиму роботи) механізмів у цілому визначається залежно від класу використання механізму ($T_0 - T_9$), що характеризується загальною тривалістю використання механізму (у годинах), та режимом навантаження ($L1 - L4$).

1.3 Послідовність розрахунку режимної групи крану

Для визначення групи, до якої відноситься кран, необхідно брати до уваги клас використання і режим навантаження.

Послідовність розрахунку режимної групи крану.

1) Визначити вхідні дані:

P_{max} – маса найбільшого вантажу (номінальний вантаж), який дозволяється піднімати краном;

P_i – значення мас окремих вантажів, що піднімає кран за заданий термін служби,

$$P_i = P_1, P_2, P_3, \dots, P_n;$$

C_i – кількість робочих циклів з часним рівнем маси вантажу P_i за заданий термін служби,

$$C_i = C_1, C_2, C_3, \dots, C_n.$$

2) Визначити сумарне число робочих циклів за заданий термін служби крана C_T :

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n;$$

3) Визначити клас використання крана ($U_0 - U_9$).

Клас використання крана знаходять за таблицею (табл. 1.1).

4) Визначити коефіцієнт розподілу навантажень для крана K_P .

Коефіцієнт розподілу навантажень для крана K_P , обчислюють за формулою

$$K_P = \sum_{i=1}^n \left[\frac{C_i}{C_T} \times \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \right].$$

В розвернутому вигляді ця формула має вид:

$$K_P = \frac{C_1}{C_T} \times \left(\frac{P_1}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{C_2}{C_T} \times \left(\frac{P_2}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{C_3}{C_T} \times \left(\frac{P_3}{P_{\max}} \right)^3 + \dots + \frac{C_n}{C_T} \times \left(\frac{P_n}{P_{\max}} \right)^3$$

Номінальне значення коефіцієнта розподілу навантаження для крана встановлюють по табл. 1.2 (приймається найближче більше).

Згідно з номінальним значенням коефіцієнта розподілу навантаження визначають режим навантаження крану Q1 – Q4 з тієї ж таблиці.

5) Визначити групу класифікації крана в цілому.

Встановивши клас використання ($U_0 - U_9$) по табл. 1.1 і режим навантаження (Q1 – Q4) по табл. 1.2, визначають групу класифікації крана в цілому по табл. 1.3.

Таблиця 1.1 – Клас використання крану

Клас використання	Максимальне число робочих циклів	Примітка
U_0	$1,6 \times 10^4$	Нерегулярне використання
U_1	$3,2 \times 10^4$	
U_2	$6,3 \times 10^4$	
U_3	$1,25 \times 10^5$	
U_4	$2,5 \times 10^5$	Регулярне використання в легких умовах
U_5	5×10^5	Регулярне використання з перервами
U_6	1×10^6	Регулярне інтенсивне використання
U_7	2×10^6	Інтенсивне використання
U_8	4×10^6	
U_9	Більше 4×10^6	

Таблиця 1.2 – Номінальні коефіцієнти розподілу навантаження для крана

Режим навантаження	Номінальний коефіцієнт розподілу навантажень K_p	Примітка
Q1– легкий	0,125	Крани що піднімають регулярно легкі вантажі, а номінальні вантажі рідко
Q2– середній	0,25	Крани що піднімають регулярно середні вантажі, а номінальні досить часто
Q3– важкий	0,50	Крани що піднімають регулярно важкі вантажі, а номінальні вантажі часто
Q4– дуже важкий	1,00	Крани що піднімають регулярно вантажі, близькі до номінальних

Таблиця 1.3 – Групи класифікації кранів в цілому

Режим навантаження	Коефіцієнт розподілу навантажень K_p	Клас використання і максимальне число робочих циклів даного пристрою									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q1 – легкий	0,125			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 – середній	0,25		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	
Q3 – важкий	0,5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8		
Q4 – дуже важкий	1,0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8			

1.4 Послідовність розрахунку режимної групи кранового механізму

Для визначення групи, до якої відноситься механізм, необхідно брати до уваги клас використання і режим навантаження.

Послідовність розрахунку режимної групи механізму.

1) Визначити вхідні дані:

P_{\max} – значення найбільшого навантаження, прикладеного до механізму;

P_i – значення приватних навантажень (рівні навантажень), характерні для застосування даного механізму,

$$P_i = P_1, P_2, P_3, \dots, P_n;$$

t_i – середня тривалість використання механізму при частих рівнях навантаження

$$t_i = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n.$$

2) Визначити загальну тривалість при всіх приватних рівнях навантаження

$$t_T = \sum_{i=1}^n t_i = t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n.$$

3) Визначити клас використання механізму ($T_0 - T_9$).

Клас використання механізму характеризується передбачуваною загальною тривалістю експлуатації в годинах і номінальними класами, даними в табл. 1.4.

Для класифікації умовилися під часом роботи механізму розуміти час, протягом якого даний механізм знаходився в русі.

4) Визначити коефіцієнт розподілу навантажень для механізму K_m .

Коефіцієнт розподілу навантажень для механізму K_m , обчислюють за формулою

$$K_m = \sum_{i=1}^n \left[\frac{t_i}{t_T} \times \left(\frac{P_i}{P_{\max}} \right)^3 \right].$$

В розвернутому вигляді ця формула має вид:

$$K_P = \frac{t_1}{t_T} \times \left(\frac{P_1}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{t_2}{t_T} \times \left(\frac{P_2}{P_{\max}} \right)^3 + \frac{t_3}{t_T} \times \left(\frac{P_3}{P_{\max}} \right)^3 + \dots + \frac{t_n}{t_T} \times \left(\frac{P_n}{P_{\max}} \right)^3$$

Номінальні значення коефіцієнта розподілу навантаження механізму встановлюють по табл. 1.5 (приймається найближче більше).

Згідно з номінальним значенням коефіцієнта розподілу навантаження визначають режим навантаження механізму L1 – L4 з тієї ж таблиці.

5) Визначити групу класифікації механізму в цілому.

Встановивши клас використання ($T_0 - T_9$) по табл. 1.4 і режим навантаження (L1 – L4) по табл. 1.5, визначають групу класифікації механізму в цілому по табл. 1.6.

Таблиця 1.4 – Клас використання механізмів

Клас використання	Загальна тривалість випробування, годин	Примітка
T_0	200	Нерегулярне використання
T_1	400	
T_2	800	
T_3	1 600	

Продовження таблиці 1.4

T ₄	3 200	Регулярне використання в легких умовах
T ₅	6 300	Регулярне використання з перервами
T ₆	12 500	Регулярне інтенсивне використання
T ₇	25 000	Інтенсивне використання
T ₈	50 000	
T ₉	100 000	

Таблиця 1.5 – Номінальні коефіцієнти розподілу навантаження механізму K_m

Режим навантаження	Номінальний коефіцієнт розподілу навантажень K_m	Примітка
L1– легкий	0.125	Механізми, піддаються дії малих навантажень регулярно, найбільших навантажень рідко
L2– середній	0.25	Механізми, піддаються дії помірних навантажень регулярно, найбільших навантажень доволі часто
L3– важкий	0.50	Механізми, піддаються дії великих навантажень регулярно, найбільших навантажень часто
L4– дуже важкий	1.00	Механізми, піддаються дії найбільших навантажень регулярно

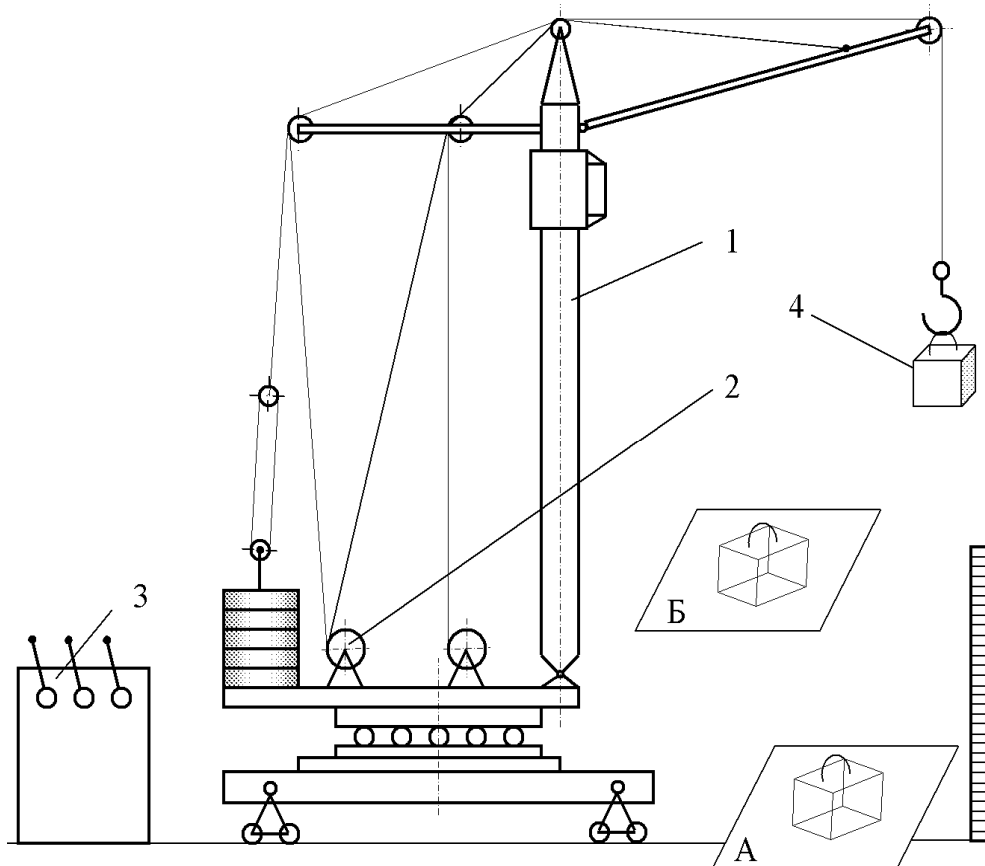
Таблиця 1.6 – Групи класифікації механізмів в цілому

Режим навантаження	Номінальний коефіцієнт розподілу навантажень K_m	Клас використання механізмів									
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	T ₈	T ₉
L1– легкий	0.125			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
L2– помірний	0.25		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	
L3– важкий	0.5	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8		
L4– вельми важкий	1.0	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8			

1.5 Лабораторне обладнання

В лабораторне обладнання входить (рис. 1.1):

- тренажер вантажопідйомного крану 1;
- комплект умовних вантажів різної маси 2;
- секундоміри.



1 – металоконструкція крана; 2 – механізм підйому;
3 – пульт управління; 4 – вантаж

Рисунок 1.1 – Лабораторна установка

1.6 Послідовність виконання роботи

- 1) Підготувати форму за табл. 1.7 для проведення експерименту.

Таблиця 1.7 – Таблиця даних експерименту

Вантаж, №	Маса Q_i, t	Підйоми		Машинний час роботи механізму, t_m, c			
		За порядком	Всього C_i	Піднімання, c	Опускання, c	Всього, c	Всього, c
1		1					
		2					
		...					
2		1					
		2					
		...					
...	...	1					
		...					

2) Виконати переміщення ряду вантажів на протязі часу роботи крана $t_k = 600$ с, результати занести в табл. 1.7.

3) Визначити відносну тривалість роботи механізму підйому за даними табл. 1.7 по формулі:

$$TB\% = \frac{t_M}{t_K} 100\%.$$

4) Визначити за даними табл. 1.7 режимну групу крана при умові роботи його на протязі декількох років (кількість часів роботи крана за одну робочу зміну, кількість змін роботи, кількість робочих днів в році та кількість років роботи крана видається керівником).

5) 4) Визначити за даними табл. 1.7 групу класифікації механізму режимну групу для того ж періоду роботи.

1.7 Зміст звіту

В звіт про роботу необхідно помістити:

- мету роботи;
- коротке викладення теоретичних положень;
- опис випробувальної установки;
- результати вимірювань та розрахунки;
- висновки.

1.8 Контрольні питання

1 Яким документом визначається методика визначення режимної групи крану і кранового механізму.

2 Які характеристики навантаження крану необхідні для визначення режимної групи.

3 Що характеризує коефіцієнт та клас використання крана.

4 Що характеризує коефіцієнт та клас навантаження крана.

5 Як визначити групу режиму роботи крана.

6 Що характеризує клас використання механізму.

7 Що характеризує коефіцієнт та клас навантаження механізму.

8 Як визначити групу режиму роботи механізму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

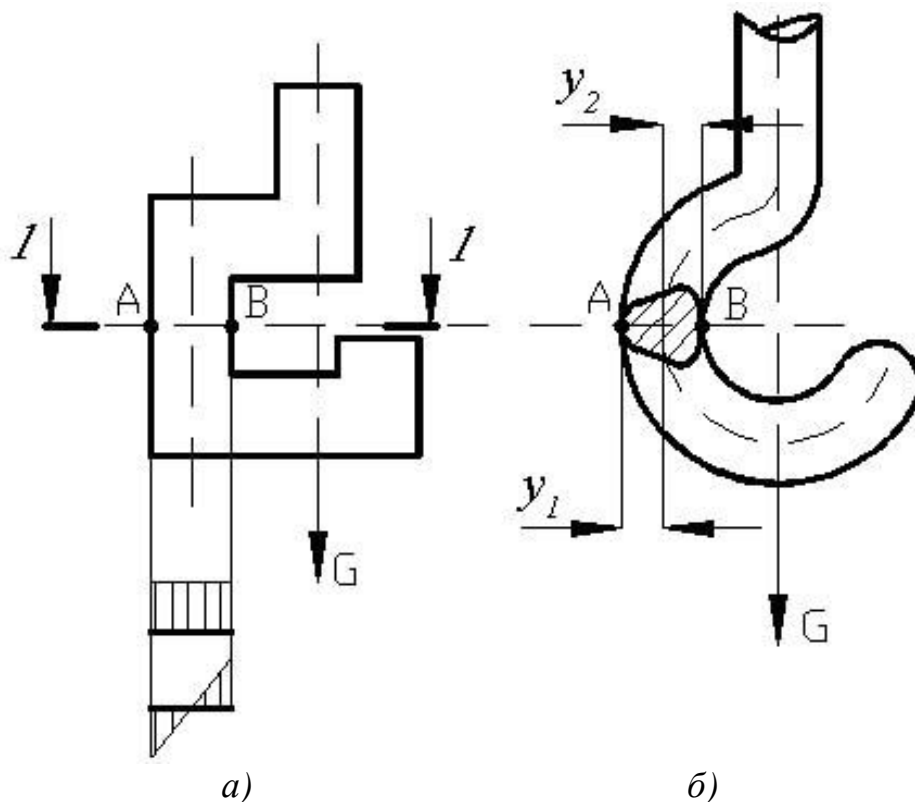
Вивчення напружень в горизонтальному перерізі зігнутої частини однорогого гака

2.1 Мета роботи

Вивчення характеру та величини напружень в зігнутій частині однорогого гака, для чого на експериментальній установці визначити фактичні значення напружень в крайніх точках горизонтального перерізу і порівняти їх між собою та з розрахунковими.

2.2 Основні теоретичні відомості

В горизонтальному перерізі зігнутої частини однорогого гака діють напруження від сили розтягу та згінного моменту, що створює сила ваги вантажу. Якщо не враховувати зігнутість гака (рис. 2.1, а), то сумарні напруження розтягу і згину можуть бути записані у такому вигляді:



а) – не зігнутий гак; б) – зігнутий гак

Рисунок 2.1 – Схема навантаження перерізу 1–1

$$\sigma_A = \frac{G}{A_{1-1}} - \frac{My_1}{J_{1-1}}; \quad (2.1)$$

$$\sigma_B = \frac{G}{A_{1-1}} + \frac{My_2}{J_{1-1}}. \quad (2.2)$$

де σ_A – напруження в точці A ;

σ_B – напруження в точці B ;

A_{1-1} – площа перерізу;

J_{1-1} – момент інерції перерізу;

y_1 і y_2 – відстань від нейтральної вісі перерізу до точок A і B ;

M – згінний момент.

Якщо форма перерізу буде симетричною відносно нейтральної осі, тобто такою, що $y_1 = y_2$, то напруження $\sigma_A \neq \sigma_B$. Для того, щоб досягти рівності $|\sigma_A| = |\sigma_B|$, переріз виконують несиметричним, а саме трапецієвидним, коли $y_1 > y_2$.

Для зігнутого гака з трапецієвидною формою (рис. 2.1, б) напруження в точках A і B визначають за формулами кривого бруса, які тут наведені у готовому вигляді після перетворень:

$$\sigma_A = -\frac{Gy_1}{A_{1-1}k(h + 0,5a)}; \quad (2.3)$$

$$\sigma_B = \frac{Gy_2}{A_{1-1}k\frac{a}{2}}. \quad (2.4)$$

де a – діаметр зіву гака;

k – коефіцієнт, що враховує форму і геометричні розміри перерізу.

Для трапецієвидної форми його визначають за формулою:

$$k = \frac{2r}{(b_1 + b_2)h} \left\{ \left[b_2 + \frac{b_1 - b_2}{h} * (r + y_1) \right] * \ln \frac{r + y_1}{r - y_2} - (b_1 - b_2) \right\} - 1, \quad (2.5)$$

де r – радіус кривизни зігнутої частини гака, $r = \frac{a}{2} + y_2$;

b_1 , b_2 , h – геометричні розміри розрахункової трапеції перерізу за рис. 2.2.

Для визначення висоти розрахункової трапеції h використовують наступні залежності (рис. 2.2):

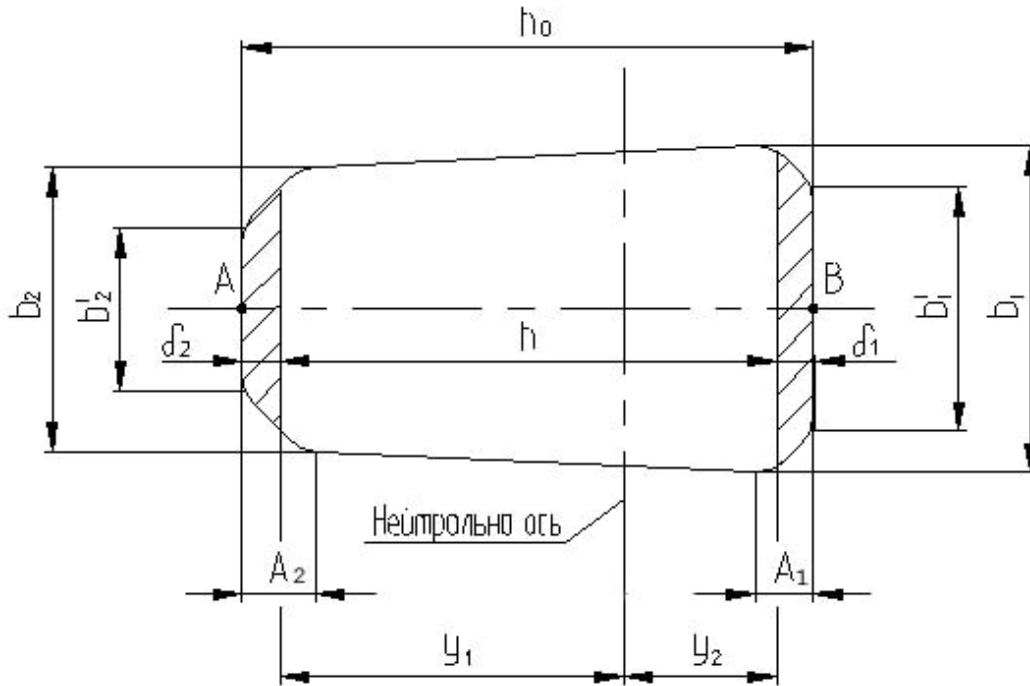


Рисунок 2.2 – Геометричні розміри перерізу

$$h = h_0 - (\delta_1 + \delta_2); \quad (2.6)$$

$$\delta_1 = \frac{A_1(b_1 - b_1^1)}{b_1 + b_1^1}; \quad (2.7)$$

$$\delta_2 = \frac{A_2(b_2 - b_2^1)}{b_1 + b_1^1}. \quad (2.8)$$

Положення нейтральної осі визначається розмірами:

$$y_2 = \frac{b_1 + 2b_2}{b_1 + b_2} \frac{h}{3}; \quad y_1 = h - y_2. \quad (2.9)$$

Площа перерізу

$$A_{1-1} = \frac{b_1 + b_2}{2} h. \quad (2.10)$$

2.3 Лабораторне обладнання

В лабораторне обладнання входить (рис. 2.3):

- випробувальний гак з тензодатчиками 1;
- пристрій для навантаження гака 2;
- прилад для реєстрації величини навантажень;
- прилад для реєстрації напружень в точках A і B перерізу гака.

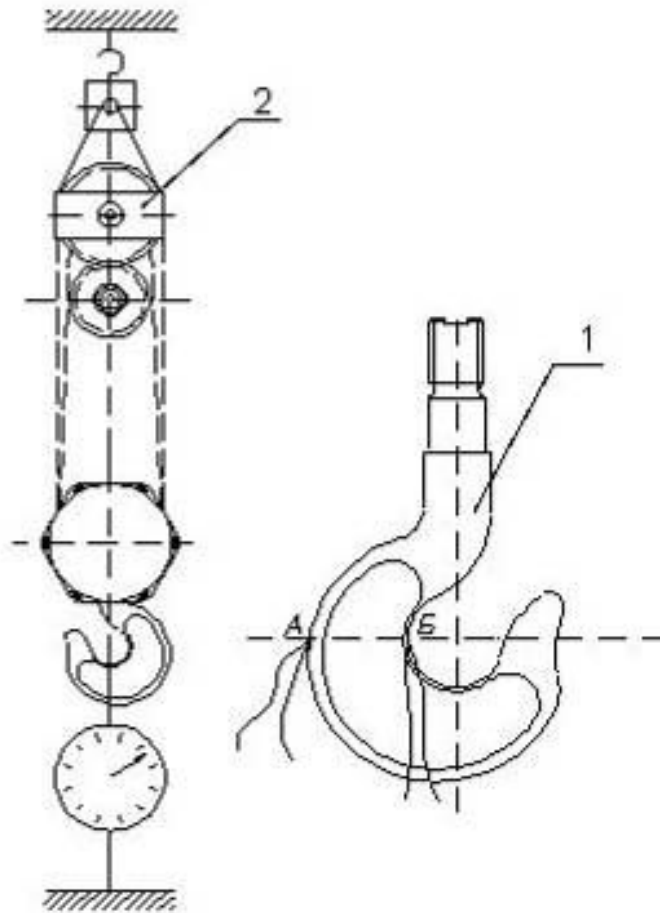


Рисунок 2.3 – Лабораторна установка

2.4 Послідовність виконання роботи

1) Виконати вимірювання зіву гака a та розмірів горизонтального перерізу: h_0 ; A_1 ; A_2 ; b_1 ; b_2 . Результати занести в табл. 2.1.

2) Визначити, користуючись формулами (2.6 ... 2.10), значення розрахункових величин: h ; y_2 ; y_1 ; A_{1-1} .

3) Визначити за формулою (2.5) значення коефіцієнта k .

4) Визначити за формулами (2.3) і (2.4) напруження σ_A і σ_B (Па) від зусилля $G=1$ (одиницею навантаження в залежності від розмірів гака може бути: 10 Н ; $1 \cdot 10^2\text{ Н}$; $1 \cdot 10^3\text{ Н}$ і т. д.).

Результати розрахунків за пунктами 1...4 занести в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Геометричні розміри перерізу та розрахункові напруження σ_A і σ_B від зусилля $G=1$

Геометричні розміри перерізу, м											Напруження від зусилля $G=1$	
Виміряні						Розраховані						
a	h_0	A_1	A_2	b_1	b_2	h	y_2	y_1	A_{1-1}	k	$\sigma_A, \text{Па}$	$\sigma_B, \text{Па}$

5) На випробувальному стенді навантажити гак зусиллями: G_1 ; G_2 ; G_3 ; G_4 ; G_5 .

б) Для кожного зусилля визначити за допомогою тензOMETричного устрою напруження в точках A і B . Результати занести в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальні напруження σ_A і σ_B

Номер вимірювання	1	2	3	4	5
Зусилля G					
Напруження $\sigma_A, Па$					
Напруження $\sigma_B, Па$					

7) Розрахувати напруження в точках A і B за формулами (2.3) і (2.4) для зусиль: G_1 ; G_2 ; G_3 ; G_4 ; G_5 . Результати звести в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові напруження σ_A і σ_B

Номер навантаження	1	2	3	4	5
Зусилля G					
Напруження $\sigma_A, Па$					
Напруження $\sigma_B, Па$					

8) Зробити висновки з одержаних результатів розрахунків та експериментальних вимірювань, а саме:

- чи змінюється знак напружень σ_A і σ_B за даними табл.2.1 і чи рівні ці напруження за абсолютною величиною?
- чи змінюється знак напружень σ_A і σ_B за даними табл.2.2 і чи рівні ці напруження за абсолютною величиною?
- яка різниця між експериментальними та розрахунковими напруженнями σ_A і σ_B за даними табл.2.2 і табл.2.3?

2.5 Зміст звіту

В звіт про роботу необхідно помістити:

- мету роботи;
- коротке викладення теоретичних положень;
- опис випробувальної установки;
- результати розрахунків та експериментальних вимірювань, представлених в табл. 2.1, 2.2, 2.3;
- висновки.

2.6 Контрольні питання

- 1 Класифікація вантажопідійомних гаків за конструкцією.
- 2 Класифікація вантажопідійомних гаків по способу виготовлення.
- 3 Форма горизонтального перерізу зігнутої частини вантажопідійомних гаків.

4 Які напруження виникають у горизонтальному перерізі зігнутої частини однорогого гака.

5 Які напруження виникають у вертикальному перерізі зігнутої частини однорогого гака.

6 Що забезпечує трапецієвидна форма горизонтального перерізу зігнутої частини однорогого гака.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 **Дослідження сил закріплення канату на барабані** **притискними планками**

3.1 Мета роботи

Вивчення характеру та величини зусиль, що діють в вузлі закріплення канату на барабані притискними планками, для чого на експериментальній установці визначити зусилля закріплення з врахуванням допоміжних сил тертя в зоні установки планок і порівняти його з розрахунковим.

3.2 Основні теоретичні відомості

Закріплення канату на вантажному барабані притискними планками є одним з найбільш розповсюджених способів. Розрахунок вузла полягає в тому, щоб визначити зусилля кріплення $F_{кр}$ в гільці канату перед першою планкою (рис. 3.1), при якому канат під всіма планками залишатиметься в нерухомому стані.

Приблизно, з запасом міцності утримання канату, зусилля $F_{кр}$ розраховують по формулі:

$$F_{кр} = F_n f_0 n \quad (3.1)$$

де F_n – нормальна сила, діюча на канат під кожною планкою вузла, тобто – сумарна сила зтяжки всіх болтів однієї планки;

n – кількість планок в вузлі (в разі одного болта на одній планці кількість планок і кількість болтів співпадає, цей випадок прийнято в подальшому для дослідження);

f_0 – приведений коефіцієнт опору зрушенню канату під планкою, визначається по формулі:

$$f_0 = f + \frac{f_1}{\sin \beta},$$

де f – коефіцієнт тертя канату з барабаном;
 f_1 – коефіцієнт тертя канату з планкою;
 β – кут нахилу стінки канавки в притискній планці (рис. 3.1, переріз А – А).

Більш точно зусилля кріплення $F_{кр}$ можна розрахувати, якщо в розрахунки ввести сили тертя, що діють в самому вузлі між канатом та барабаном на ділянках, де відсутні планки. В цьому випадку для зусиль, діючих у канаті за кожною притискною плакою, маємо наступні залежності:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{кр} - F; & F_2 &= \frac{F_1}{e^{f\alpha_1}} - F; & F_3 &= \frac{F_2}{e^{f\alpha_2}} - F; & \dots \\ F_n &= \frac{F_{n-1}}{e^{f\alpha_{n-1}}} - F, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де F – сила опору зрушенню канату під планкою,

$$F = F_6 f_0,$$

де F_6 – сила затяжки болта на одній планці;

α_i – кут між планками.

У нашому випадку, та найчастіше на практиці $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = \alpha$.

Тоді

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{кр} - F; \\ F_2 &= \frac{F_1}{e^{f\alpha}} - F = \frac{F_{кр} - F}{e^{f\alpha}} - F = \frac{F_{кр} - F(1 + e^{f\alpha})}{e^{f\alpha}}; \\ F_3 &= \frac{F_2}{e^{f\alpha}} - F = \frac{F_{кр} - F(1 + e^{f\alpha})}{(e^{f\alpha})^2} - F = \frac{F_{кр} - F(1 + e^{f\alpha} + (e^{f\alpha})^2)}{(e^{f\alpha})^2}; \end{aligned}$$

За останньою планкою n зусилля в канаті дорівнює нулю, тобто

$$F_n = 0; \quad F = \frac{F_{n-1}}{e^{f\alpha_{n-1}}}. \quad (3.3)$$

У нашому випадку

$$\begin{aligned} F_3 = 0; \quad 0 &= \frac{F_{кр} - F(1 + e^{f\alpha} + (e^{f\alpha})^2)}{(e^{f\alpha})^2}; \quad 0 = F_{кр} - F(1 + e^{f\alpha} + (e^{f\alpha})^2); \\ F_{кр} &= F(1 + e^{f\alpha} + (e^{f\alpha})^2). \end{aligned}$$

У дужках розміщується сума n членів геометричної прогресії з знаменником $q = e^{f\alpha}$ і першим членом $a = 1$ яка дорівнює

$$S_n = \frac{a(1 - q^n)}{1 - q}.$$

Тоді

$$F_{кр} = F \frac{1 - (e^{f\alpha})^3}{1 - e^{f\alpha}} = F_{\sigma} f_0 \frac{1 - (e^{f\alpha})^3}{1 - e^{f\alpha}}.$$

Або у загальному вигляді

$$F_{кр} = F \frac{1 - (e^{f\alpha})^n}{1 - e^{f\alpha}} = F_{\sigma} f_0 \frac{1 - (e^{f\alpha})^n}{1 - e^{f\alpha}}. \quad (3.4)$$

3.3 Лабораторне обладнання

В лабораторну установку входить (рис. 3.1):

- барабан 1 у вигляді неширокого сталюого кільця, на якому повинні розміститись як найменш чотири витки канату;
- канат 2, який двома витками охоплює барабан і замикається на зрівняльному блоку 8;
- притискні планки 3, які нерухомо з'єднані з канатом, але мають можливість ковзання на поверхні барабану (переріз А-А на рис. 3.1);
- гайки 4 для створення зусиль в тягах 5, причому ці зусилля в тягах вирівнюються за рахунок того, що тяги з'єднані між собою шарнірно кільцем 6, і розташовані під одним і тим же центральним кутом α ;
- індикатори 7 для реєстрації зміщення планок під дією зусиль в канаті;
- вантажі 9 для створення зусилля в канаті;
- динамометр 10 для вимірювання величини зусилля в тягах.

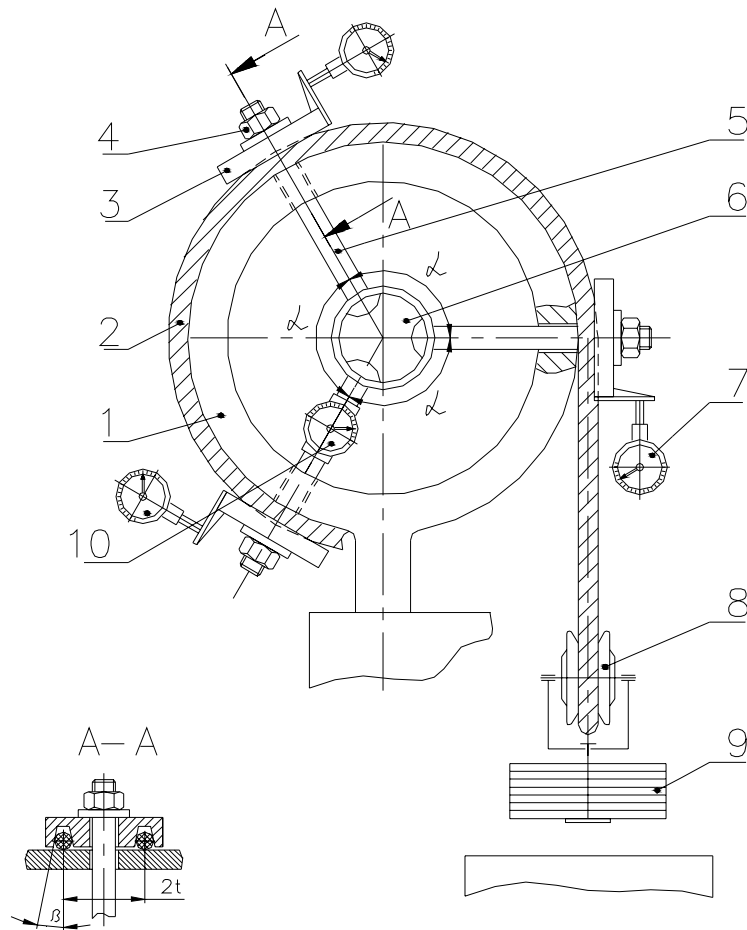


Рисунок 3.1 – Лабораторна установка

3.4 Послідовність виконання роботи

1) Користуючись гайками 4, створити в тягах 5 зусилля F_n найменш можливої величини за умови стійкого положення тяг.

2) За допомогою вантажів 9 створити в канаті таке зусилля, при якому індикатори 7 на планках покажуть їх зрушення. Зареєструвати зусилля F_n і $F_{кр}$, їх значення занести в табл.3.1.

3) Збільшити величину F_n і аналогічно попередньому пункту одержати величину $F_{кр}$. Дослід продовжувати поки планки не будуть зрушуватись зусиллям $F_{кр}$.

4) Для призначених в досліді величин нормальної сили притискання планок визначити за формулами (1) і (4) розрахункове зусилля $F_{кр}$. В розрахунках з врахуванням нерухомості канату відносно планок треба прийняти $f_0 = f = 0,1 \dots 0,16$.

5) Знайти співвідношення між зусиллями $F_{кр}$, які одержані експериментальним шляхом та розрахунком.

Таблиця 3.1 – Експериментальні і розрахункові значення зусилля $F_{кр}$

Номер дослід-ду	Зусилля в тягах F_n	Зусилля кріплення $F_{кр}$		
		Розрахункове		Експериментальне
		По формулі (3.1)	По формулі (3.4)	

3.5 Зміст звіту

В звіт про роботу необхідно помістити:

- мету роботи;
- коротке викладення теоретичних положень;
- опис випробувальної установки;
- результати розрахунків та експериментальних вимірювань, представлених табл.3.1;
- висновки.

3.6 Контрольні питання

- 1 Існуючі способи закріплення канату на вантажному барабані.
- 2 Переваги кріплення канату на барабані притискними планками.
- 3 Зусилля, що діють в вузлі закріплення канату на барабані притискними планками.
- 4 Приведений коефіцієнт опору зрушенню канату під планкою.
- 5 Відмінність приблизного розрахунку вузлі закріплення канату від точного.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Вивчення параметрів несталого руху кранового механізму

4.1 Мета роботи

Вивчення параметрів несталого руху кранового механізму: час пуску механізму, середньопускового моменту двигуна, їх залежність та способи зведення до одного з валів механізму

4.2 Основні теоретичні відомості

Крановий механізм знаходиться в несталому русі при його пуску та гальмуванні. В цій роботі розглядається механізм в процесі пуску.

Основні параметри несталого руху механізму при пуску:

t_n – час пуску механізму;

$T_{\text{д.ср.}}^n$ – середньопусковий момент двигуна;

I_M – момент інерції механізму, зведений до одного з валів механізму, наприклад, до вала двигуна;

ω_1 – кутова швидкість вала зведення.

Формула для визначення часу пуску має вигляд:

$$t_n = \frac{I_M \omega_1}{T_{\text{д.ср.}}^n - T_{\text{ст.}}}, \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ст.}}$ – статичний момент, що діє на валу.

В подальшому визначаємо параметри несталого руху механізму, зведені до валу двигуна.

Зведений до валу двигуна момент інерції механізму складається з двох складових:

$$I_M = I_{\text{об}} + I_{\text{вик}}, \quad (4.2)$$

де $I_{\text{об}}$ – момент інерції обертових частин механізму,

$$I_{\text{об}} = \delta(I_{\text{я}} + I_{\text{М.Г.}}), \quad (4.3)$$

де $I_{\text{я}}$ – момент інерції якоря двигуна;

$I_{\text{М.Г.}}$ – момент інерції муфти двигуна з гальмовим шківом;

δ – коефіцієнт, що враховує інерційність наступних за першим валом валів механізму;

$I_{\text{вик}}$ – момент інерції виконуючого органу механізму (вантажний захват, привідне колесо і т. д.).

Для механізму піднімання вантажу:

$$I_{\text{вик}} = \frac{(Q_{\text{вт}} + Q_3) D_{\text{б}}^2}{4m^2 U_p^2 \eta_M}, \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{вт}}$ – маса вантажу;

Q_3 – маса захвата;

m – кратність поліспасти;

U_p – передаточне число редуктора;

$D_{\text{б}}$ – діаметр барабана;

η_M – загальний ККД механізму.

$I_{\text{М.Г.}}$ – момент інерції муфти двигуна з гальмовим шківом;

Для механізму пересування візка:

$$I_{\text{вук}} = \frac{(Q_{\text{вм}} + Q_{\text{віз}})D_{\text{к}}^2}{4U_{\text{р}}^2\eta_{\text{м}}}, \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{віз}}$ – маса візка;
 $D_{\text{к}}$ – діаметр привідного колеса.
 Для механізму обертання крана:

$$I_{\text{вук}} = \frac{I_{\text{кр}}}{U_{\text{р}}^2 U_{\text{в.н.}}^2 \eta_{\text{м}}}, \quad (4.6)$$

де $I_{\text{кр}}$ – момент інерції обертової частини крана, зведений до вісі обертання крана;

$U_{\text{в.н.}}$ – передаточне відношення відкритої зубчатої передачі механізму.

В умовах лабораторного досліду другу складову формули (4.2), тобто $I_{\text{вук}}$, можна промоделювати на стенді з привідною частиною механізму, якщо до останнього, вихідного валу стендового механізму приєднувати різні по масі маховики. Моменти інерції маховиків $I_{\text{мах}}$ повинні бути рівними моментам інерції $I_{\text{вук}}$ тих виконуючих органів, які досліджують. Тоді параметри несталої руху стендового механізму будуть тими, які матимемо на реальному механізмі крана.

Момент інерції маховика циліндричної форми (рис. 4.1, а) розраховують за формулою:

$$I_{\text{мах}} = \sum_1^n I_{o.i}, \quad (4.7)$$

де $I_{o.i}$ – моменти інерції окремих кілець, які складають маховик в цілому (рис. 4.1, б).

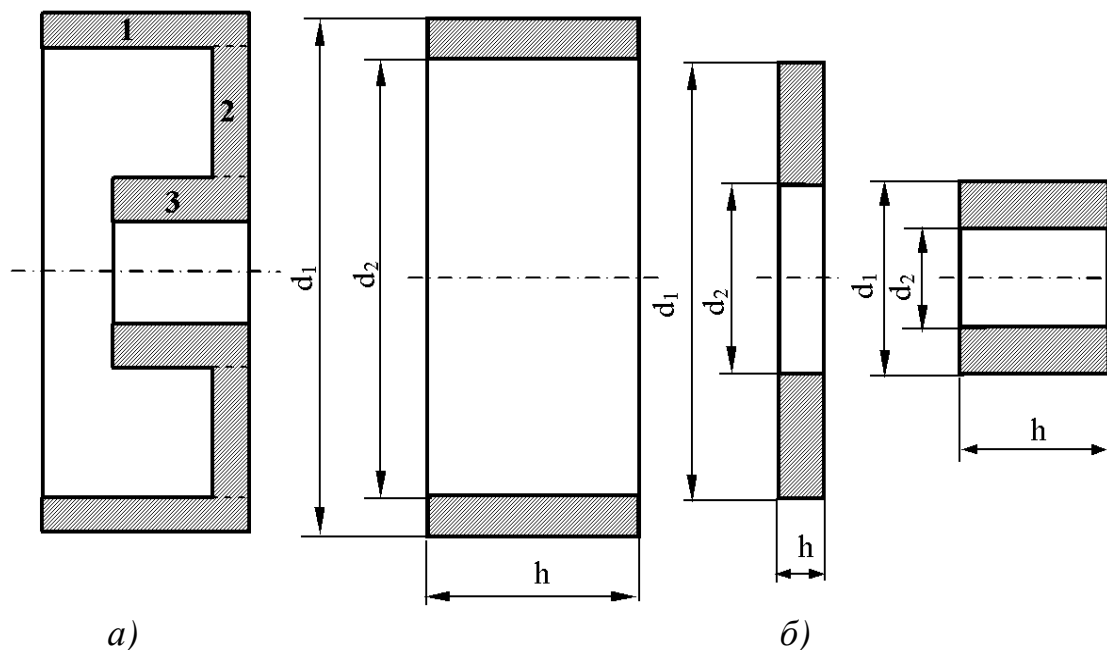


Рисунок 4.1 – Маховик циліндричної форми

$$I_o = \pi \frac{d_1^4 - d_2^4}{32} h \gamma, \quad (4.8)$$

де $d_1; d_2; h$ – геометричні розміри кільця;
 γ – питома вага матеріалу кільця.

Стендовий механізм з електричним приводом і декількома механічними передачами різного виду зображено на рис. 4.2.

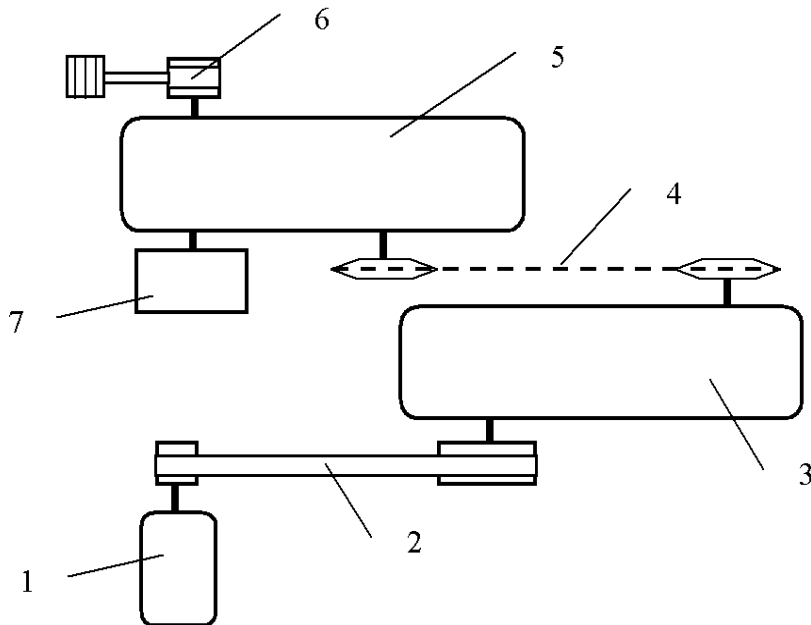


Рисунок 4.2 – Стендовий механізм з електричним приводом

В механізм заведеною схемою входить електродвигун 1, ремінна передача 2, перший редуктор прямої дії 3, ланцюгова передача 4, другий редуктор зворотної дії 5, навантажуючий устрій для створення статичного моменту 6, маховик змінного моменту інерції 7.

Технічними параметрами стендового механізму є:

$T_{д.н.}$ – номінальний момент двигуна;

$n_{д.}$ – номінальна частота обертання вала двигуна;

$I_{я.}$ – момент інерції якоря двигуна;

$I_{ш.}$ – момент інерції першого шківів ремінної передачі;

$U_{р.н.}$ – передаточне відношення ремінної передачі;

$U_{р.1}$ – передаточне число першого редуктора;

$U_{л.н.}$ – передаточне число ланцюгової передачі;

$U_{р.2}$ – передаточне число другого редуктора.

Середньопусковий момент двигуна визначається по формулі:

$$T_{д.сп.}^n = T_{д.н.} \psi_{сп.}, \quad (4.9)$$

де $\psi_{сп.}$ – коефіцієнт перевантаження двигуна при пуску.

4.3 Лабораторне обладнання

Лабораторна установка являє собою стендовий механізм за рис. 4.2 та декілька маховиків. В лабораторній роботі використовується також тахометр і тахогенератор для вимірювання частоти обертання валів, а також осцилограф.

4.4 Послідовність виконання роботи

1) Визначити технічні параметри стендового механізму і занести результати в табл. 4.1. Передаточні відношення визначити, користуючись тахометром.

Таблиця 4.1 – Технічні параметри стендового механізму

$T_{д.н.},$ Н·м	$T_{д.ср.}^n,$ Н·м	$n_{д.},$ с ⁻¹	$\omega_1,$ рад/с	$I_{я.},$ кг·м ²	$I_{ш.},$ кг·м ²	$U_{р.н.},$	$U_{р.1}$	$U_{р.2}$	$U_{л.н.}$	

2) Виміряти геометричні розміри маховиків і розрахувати їх моменти інерції за формулами (4.7) і (4.8). Результати занести в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Геометричні розміри та моменти інерції маховиків

Номер маховика	Кільце, номер	d_1	d_2	h	$I_o,$ кг·м ²	$I_{max},$ кг·м ²	
1	1.1						
	1.2						
	...						
2	2.1						
	2.2						
	...						

3) За допомогою тахогенератора та осцилографа записати осцилограму швидкості вала двигуна від його пуску до зупинки без насаджених на вихідний вал стендового механізму маховиків. Осцилограма має вигляд, показаний на рис. 4.3.

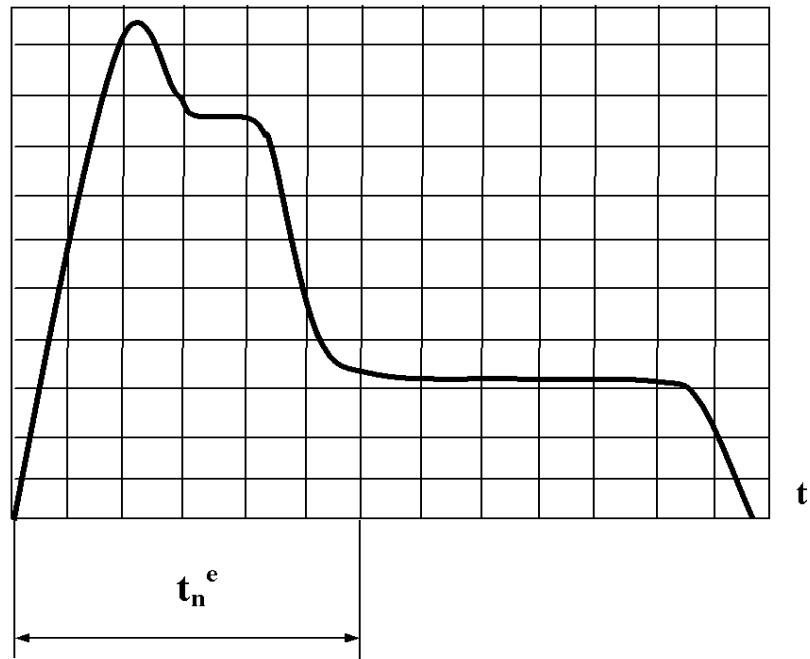


Рисунок 4.3 – Осцилограма швидкості вала двигуна від його пуску до зупинки

4) Записати осцилограми за п.3, насаджуючи на вихідний вал стендового механізму маховики з різним моментом інерції.

5) Шляхом поєднання осцилограм за п. п. 3 та 4 визначити експериментальний час пуску механізму t_n^e без маховика та з маховиками різного моменту інерції. Результати занести в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Експериментальний час пуску механізму

I_{\max}	0	$I_{\max 1}$	$I_{\max 2}$
t_n^e	t_{n0}^e	t_{n1}^e	t_{n2}^e

б) Користуючись значеннями t_n^e , визначити з формули (4.1) загальний момент інерції механізму I_M , з формули (4.2) момент інерції обертових частин $I_{об}$, та з формули (4.3) величину коефіцієнта δ . Результати занести в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Параметри несталого руху механізму

t_n^e	$I_M = t_n^e (T_{\partial.ср.}^n - T_{cm})$	$I_{об} = I_M - I_{\max}$	$\delta = \frac{I_{об}}{I_{я} + I_{ш}}$
t_{n0}^e			
t_{n1}^e			
t_{n2}^e			
...			

4.4 Зміст звіту

В звіт про роботу необхідно помістити:

- мету роботи;
- коротке викладення теоретичних положень;
- опис випробувальної установки;
- результати розрахунків та експериментальних вимірювань, представлених табл. табл. 4.4;
- висновки.

4.5 Контрольні питання

- 1 Основні параметри несталої руху кранового механізму
- 2 Які чинники впливають на час пуску механізму.
- 3 Основні принципи розрахунку моменту інерції механізму.
- 4 З чого складається зведений до валу двигуна момент інерції механізму.
- 5 Як розраховується момент інерції обертових частин механізму.
- 6 Як розраховується момент інерції робочого органу механізму.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- 1 **Александров, М. П.** и др. Грузоподъемные машины / М. П. Александров. – М. : Высшая школа, 2000. – 410 с.
- 2 **Иванченко, Ф. К.** Конструкция и расчет подъемно-транспортных машин / Ф. К. Иванченко. – К.: Вища школа, 1988. – 424 с.
- 3 Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів. – К. : Основа, П68, 2007. – 312 с. – ISBN 978–966–699–274–4.
- 4 **Кузьмин, А. В.** Справочник по расчётам механизмов подъемно-транспортных машин / А. В. Кузьмин, Ф. Л. Марон. – 2-е изд.; переаб. и доп. – Минск : Высшая школа, 1983. – 350с.
- 5 Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин : підручник / В. С. Бондарев [та ін.]. – К. : Вища школа, 2009. – 734 с. : іл. – ISBN 978–966–642–324–8.
- 6 **Иванченко, Ф. К.** Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Ф. К. Иванченко. – К. : Вища школа, 1978. – 576 с.