

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД В БУДІВНИЦТВІ

Методичні вказівки та завдання
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Київ 2025

УДК 621.312.28

A18

Укладач Г.М. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С.В. Іносов, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск Л.І. Мазуренко, д-р техн. наук,
професор

*Затверджено на засіданні кафедри електротехніки та
електроприводу, протокол №9 від 30 квітня 2025 року.*

В авторській редакції.

Автоматизований електропривід в будівництві [Електронний
ресурс]: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної
роботи / уклад. Г.М. Голенков. – Київ : КНУБА, 2025. – 28 с.

Містять загальні положення, вказівки та завдання до виконання
розрахунково-графічної роботи, запитання для самоперевірки та
список літератури.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-
інтегровані технології та робототехніка» з метою використання під
час виконання розрахунково-графічної роботи та закріплення
теоретичного матеріалу.

© КНУБА, 2025

Загальні положення

Метою виконання здобувачами розрахунково-графічної роботи згідно з нормами робочої навчальної програми з дисципліни “Автоматизований електропривід в будівництві” є підготовка висококваліфікованих спеціалістів для будівельної галузі з глибокими знаннями з питань електромеханічних систем та автоматизованого електроприводу будівельних машин та механізмів. А також теорії й практики при застосуванні спеціальних електричних машин, зокрема, лінійних асинхронних електродвигунів для приводу робочого органу електромеханічних систем ЛАД ударної дії та маніпуляторів. При цьому здобувачі повинні осмислити опрацьовану науково-технічну літературу, вивчити теоретичні питання та провести моделювання робочих та електромеханічних характеристик за допомогою комп’ютерних технологій.

Інші питання щодо виконання розрахунково-графічної роботи

Термін початку роботи - 3 тиждень; термін закінчення роботи - 18 тиждень; обсяг завдання – 30-36 сторінок формату А4; орієнтовна трудомісткість - 36..40 годин; здобувачі виконують роботу відповідно до варіанта (див. табл. 1) згідно номеру залікової книжки (перші дві цифри або останні дві цифри).

Оформлення розрахунково-графічної виконується відповідно до ДСТУ 3120-95.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Тема:

**Автоматизований електропривід електромеханічної системи
ударної дії на основі лінійного асинхронного двигуна**

1. Розрахунок лінійного асинхронного двигуна приводу робочого органу електромеханічної системи ударної дії маніпулятора

- 1.2. Головні розміри коаксіально-лінійного асинхронного двигуна.
- 1.3. Обмотка статора коаксіально-лінійного асинхронного двигуна.
- 1.4. Обмотка короткозамкненого бігуна.

1.5. Магнітне коло коаксіально-лінійного асинхронного електродвигуна.

2. Розрахунок електромеханічних характеристик клад приводу робочого органу маніпулятора

2.1. Математичне моделювання електромагнітних тягових характеристик приводу ЕМ-КЛАД.

2.2. Циклограма роботи електромеханічної системи ударної дії ЕМ-КЛАД.

2.3. Алгоритм управління ЕМ-КЛАД приводу робочого органу маніпулятора.

2.4. Функціональна схема управління маніпулятором для руйнування негабаритного матеріалу.

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Таблиця 1

Варіанти завдань до розрахунку лінійного асинхронного електродвигуна ЕМ-КЛАД

№ вар	$P, кВт$	$U_{\phi}, В$	$f_1, Гц$	$2p$	$\tau, м$	$\delta, мм$	$\cos \varphi$	η_1	$B'\delta$	$A'_1, \frac{А}{м}$	$H, м$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	11	220	50	12	0,066	1,0	0,65	0,62	0,54	$30 \cdot 10^3$	2,8
2	15	220	50	12	0,068	1,5	0,65	0,62	0,48	$32 \cdot 10^3$	2,6
3	22	220	50	10	0,07	1,6	0,62	0,63	0,46	$32 \cdot 10^3$	2,5
4	30	220	50	10	0,072	1,8	0,62	0,64	0,44	$32 \cdot 10^3$	2,7
5	45	220	50	12	0,076	1,8	0,62	0,65	0,44	$36 \cdot 10^3$	2,4
6	75	220	50	14	0,080	2,0	0,65	0,65	0,42	$36 \cdot 10^3$	2,8
7	30	220	50	14	0,084	2,2	0,65	0,65	0,40	$36 \cdot 10^3$	2,6
8	45	220	50	14	0,086	2,5	0,65	0,64	0,40	$38 \cdot 10^3$	2,7
9	11	220	50	6	0,068	1,0	0,66	0,64	0,52	$30 \cdot 10^3$	2,4
10	15	220	50	6	0,070	1,5	0,66	0,63	0,48	$32 \cdot 10^3$	2,5
11	22	220	50	8	0,072	1,5	0,66	0,65	0,45	$32 \cdot 10^3$	2,9
12	30	220	50	8	0,076	1,8	0,65	0,66	0,43	$34 \cdot 10^3$	2,8
13	45	220	50	8	0,080	2,0	0,65	0,64	0,42	$34 \cdot 10^3$	2,6
14	75	220	50	12	0,084	2,0	0,64	0,63	0,42	$36 \cdot 10^3$	2,5
15	22	220	50	12	0,088	2,2	0,64	0,64	0,40	$36 \cdot 10^3$	2,7
16	30	220	50	12	0,090	2,5	0,63	0,63	0,40	$38 \cdot 10^3$	2,4
17	11	220	50	10	0,070	1,0	0,65	0,65	0,50	$31 \cdot 10^3$	2,8
18	15	220	50	10	0,076	1,5	0,66	0,64	0,48	$32 \cdot 10^3$	2,6
19	22	220	50	12	0,078	1,6	0,65	0,64	0,44	$34 \cdot 10^3$	2,7

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
20	30	220	50	12	0,080	1,8	0,65	0,65	0,42	$36 \cdot 10^3$	2,4
21	11	220	50	12	0,068	1,2	0,65	0,62	0,54	$30 \cdot 10^3$	2,5
22	15	220	50	12	0,07	1,4	0,65	0,62	0,48	$32 \cdot 10^3$	2,9
23	22	220	50	10	0,072	1,7	0,62	0,63	0,46	$32 \cdot 10^3$	2,7
24	30	220	50	10	0,076	1,9	0,62	0,64	0,44	$32 \cdot 10^3$	2,6

При виконанні роботи для усіх варіантів:
число фаз $m_1=3$; частота мережі $f=50$ Гц; спосіб охолодження – ІСО141; клас теплостійкості ізоляції – F; рівень захисту від зовнішніх чинників впливів – IP44.

Тема:
АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ МАНІПУЛЯТОРА
УДАРНОЇ ДІЇ (ЕМ-КЛАД-М)
(Приклад)

1. РОЗРАХУНОК КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕМ-КЛАД-М

Завдання. Розрахувати коаксіально-лінійний асинхронний двигун

Номинальна потужність $P_{\text{ном}} = 15$ кВт.

Фазова напруга $U_1 = 220$ В.

Частота мережі живлення $f_1=50$ Гц.

Кількість полюсів $2p=12$.

Полюсний розподіл $\tau=0,068$ м.

Повітряний проміжок між індуктором статора і бігуном (вторинним елементом) $\delta = 0,015$ м.

Попереднє значення коеф. потужності $\cos\varphi=0,62$;

Попереднє значення коеф. корисної дії $\eta=0,65$.

Попереднє значення максимальної магнітної індукції в проміжку $B'\delta =0,60$ Тл (див. рис.5.2[1]).

Попереднє значення лінійного навантаження $A'_1=32 \cdot 10^3$ А/м (див. рис. 5.2 [1]).

1.1. Головні розміри коаксіально-лінійного асинхронного двигуна (рис. 1.1)

Розрахункова повна потужність

$$S_1 = \frac{K_E P_H}{\eta_1 \cdot \cos\varphi} = \frac{0,94 \cdot 15000}{0,62 \cdot 0,65} = 34987,6 \text{ ВА} = 35 \text{ кВА}, \quad (1.1)$$

де $K_E = \frac{E_1}{U_1} = 0,94$ при цьому K_E відповідає меншій кількості числу пар p – полюсів[1].

Швидкість бігучого магнітного поля статора коаксіально-лінійного асинхронного двигуна

$$v_1 = 2\tau f_1 = 2 \cdot 0,068 \cdot 50 = 6,8 \text{ м/с}. \quad (1.2)$$

Розрахункова довжина магнітопроводу індуктора статора коаксіально-лінійного асинхронного двигуна (рис. 1.1)

$$L_1 = 2\tau r + b'_z = 2 \cdot 68 \cdot 6 + 5 = 821,3 \text{ мм} = 0,821 \text{ м}, \quad (1.3)$$

де $b'_z = (4,5 \div 5,5)$ – попереднє значення ширини зубця, мм.

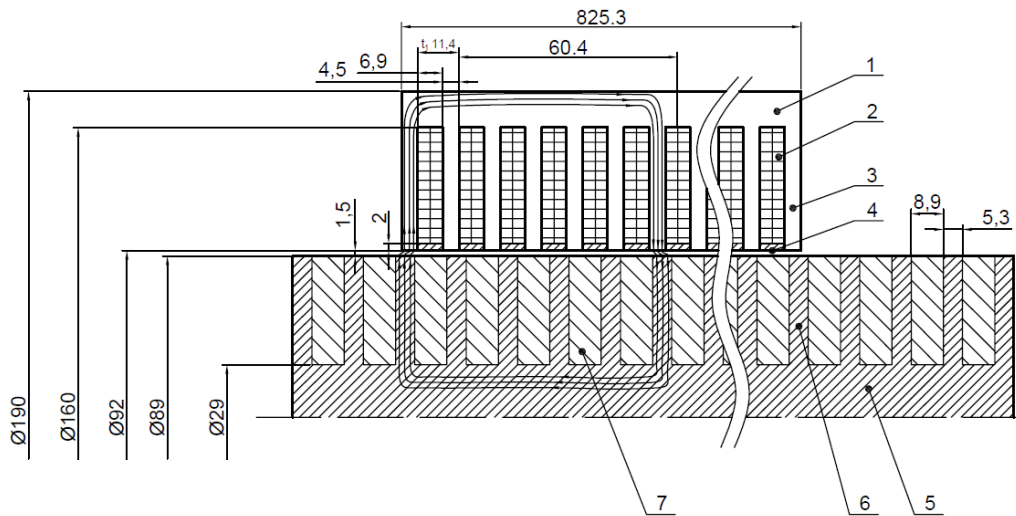


Рис. 1.1. Конструктивні елементи КЛАД:

- 1 – магнітопровід індуктора статора; 2 – обмотка статора; 3 – зубець індуктора;
4 – клин кільце; 5 – магнітопровід бігуна; 6 – зубець магнітопроводу бігуна;
7 – короткозамкнена обмотка бігуна

Внутрішній діаметр індуктора статора КЛАД

$$D_{B1} = \frac{S_1 \cdot 10^3}{\sqrt{2}\pi \cdot K_{MK} \cdot \vartheta_1 \cdot L_1 \cdot A'_1 \cdot B'_6} = \frac{35 \cdot 10^6}{\sqrt{2}\pi \cdot 0,8 \cdot 6,8 \cdot 0,821 \cdot 32 \cdot 10^3 \cdot 0,60} = 92 \text{ мм}, \quad (1.4)$$

де $K_{MK} = 0,75 \div 0,85$ – монтажно-конструктивний коефіцієнт.

Висота спинки індуктора статора

$$h_{c1} = \frac{0,5\tau B_6}{k_{c1} B_{c1}} = 0,5 \cdot 68 \cdot \frac{0,6}{0,95 \cdot 1,45} = 15 \text{ мм}, \quad (1.5)$$

де $k_{c1} = 0,95$ – коефіцієнт заповнення магнітопроводу статора;

$B_c = 1,45 \text{ Тл}$ (згідно табл. 5.9[1])– значення магнітної індукції спинки індуктора статора.

Попереднє розрахункове значення зовнішнього діаметра індуктора статора

$$D_{c1} = D_{в1} + \tau + 2h_{c1} = 92 + 68 + 2 \cdot 15 = 190 \text{ мм}. \quad (1.6)$$

Попереднє розрахункове значення висоти зубця індуктора статора

$$h_{z1} = \frac{\tau}{2} = \frac{68}{2} = 34 \text{ мм}. \quad (1.7)$$

Кількість пазів індуктора статора

$$Z_1 = m_1 \cdot 2p \cdot q = 3 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 2 = 72. \quad (1.8)$$

Попередній зубчастий розподіл магнітопроводу індуктора статора

$$t_1 = (L_1 - b_{з1}) / (Z_1) = (821 - 5) / 72 = 11,4 \text{ мм}. \quad (1.9)$$

Ширина зубця індуктора статора

$$b_{з1} = t_1 \cdot \frac{B_6}{k_{c1} B_{21max}} = 11,4 \cdot \frac{0,6}{0,95 \cdot 1,6} = 4,5 \text{ мм}, \quad (1.10)$$

де $B_{21max} = 1,6 \text{ Тл}$. по табл. 5,10 [1] при $Z_1=72$.

Ширина паза магнітопроводу індуктора статора

$$b_{п1} = t_1 - b_{з1} = 11,4 - 4,5 = 6,9 \text{ мм}. \quad (1.11)$$

Попереднє розрахункове значення внутрішнього діаметра котушки з обмоткою статора

$$D_{bk1} = D_{в1} + 2h_k = 92 + 2 \cdot 2 = 96 \text{ мм}, \quad (1.12)$$

де $h_k = 2 \text{ мм}$ – висота клин-кільця пазу статора.

Уточнена довжина магнітопроводу статора

$$L'_1 = t_1 \cdot Z_1 + b_{з1} = 11,4 \cdot 72 + 4,5 = 825,3 \text{ мм}. \quad (1.13)$$

Уточнене значення полюсного розподілу довжина магнітопроводу статора

$$\tau'_1 = t_1 \cdot m_1 q_1 = 11,4 \cdot 3 \cdot 2 = 68,4 \text{ мм}. \quad (1.14)$$

Уточнене значення швидкості бігучого магнітного поля статора

$$v'_1 = 2\tau'_1 \cdot f = 2 \cdot 68,4 \cdot 50 = 6,84 \text{ м/с}. \quad (1.15)$$

Висота паза, який заповнюється обмоткою

$$h'_{п1} = h_{z1} - h_{k1} = 34 - 2 = 32 \text{ мм}. \quad (1.16)$$

Зовнішній діаметр магнітопроводу бігуна з урахуванням проміжку

$$D_{зм2} = D_{в1} - 2\delta = 92 - 2 \cdot 1,5 = 89 \text{ мм.} \quad (1.17)$$

Висота зубця бігуна

$$h_{z2} = 0,5 \cdot \tau' \cdot \frac{B_{\delta}}{B_{c2}} = 0,5 \cdot 68,4 \cdot \frac{0,6}{0,75} = 28 \text{ мм,} \quad (1.18)$$

де $B_{c2} = 0,75$ Тл згідно табл. 5.10 [1].

Коефіцієнт сприятливого співвідношення числа пазів, пов'язаних при взаємодії магнітних полів

$$K_{z_1/z_2} = Z_1/Z_2 = 72/58 = 1,241, \quad (1.19)$$

де $z_2 = 58$ по табл. 5.8[1] при $z_1 = 72$.

Зубчастий розподіл магнітопроводу бігуна

$$t_2 = \frac{L'_1}{Z_2} = \frac{825,3}{58} = 14,22 \text{ мм.} \quad (1.20)$$

Ширина зубця бігуна

$$b_{z2} = t_2 \cdot \frac{B'_{\delta}}{B_{z2max}} = 14,22 \cdot \frac{0,60}{1,6} = 5,33 \text{ мм.} \quad (1.21)$$

де $B_{z2max} = 1,6$ Тл згідно табл. 5.10 [1].

Висота спинки магнітопроводу бігуна

$$h_{c2} = \frac{0,5\alpha\tau B_{\delta}}{B_{c2}} = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 68 \cdot \frac{0,6}{0,75} = 15,45 \text{ мм,} \quad (1.22)$$

Ширина паза короткозамкненої обмотки (кільце бігуна)

$$b_{п2} = t_2 - b_{z2} = 14,22 - 5,33 = 8,9 \text{ мм.} \quad (1.23)$$

Площа паза короткозамкненої обмотки бігуна

$$S_{п2} = h_{z2} \cdot b_{п2} = 28 \cdot 8,9 = 252 \text{ мм}^2. \quad (1.24)$$

1.2. Обмотка статора коаксіально-лінійного асинхронного двигуна

Тип обмотки статора КЛАД-котушковий (рис.1.2 та рис. 1.3)

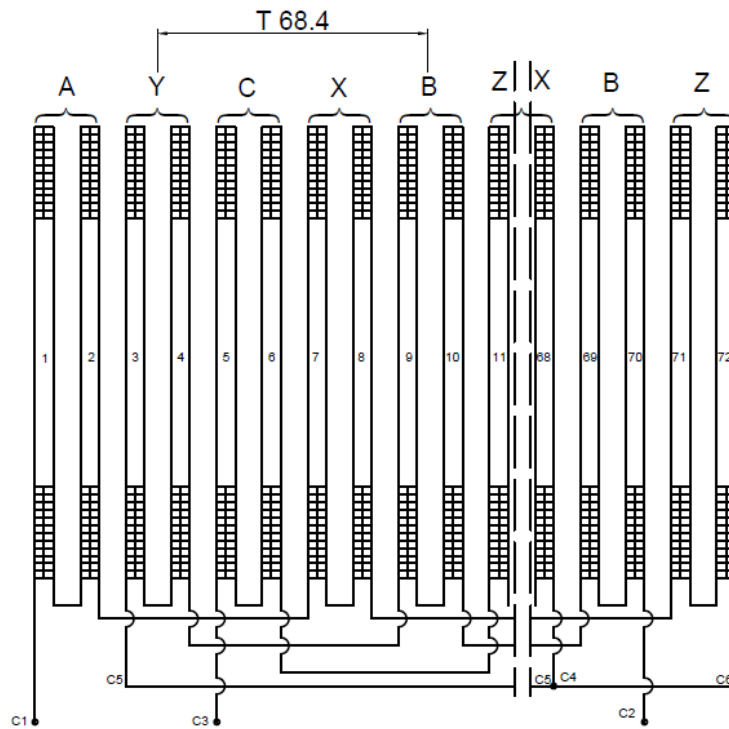


Рис. 1.2. Схематичне зображення обмотки статора КЛАД ($z=72$; $2p=12$; $q=2$)

Щільність струму в обмотці приймаємо (згідно рис 5.11[1]) $j_1 = 5,5 \text{ A/мм}^2$.

Попереднє значення номінального фазного струму в обмотці статора

$$I_{\text{п1}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{m_1 U_1 \eta \cdot \cos\varphi} = \frac{15 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,62 \cdot 0,65} = 56,4 \text{ A.} \quad (1.25)$$

Кількість ефективних провідників у пазі

$$N_{\text{п1}} = \frac{10^{-3} \cdot A'_1 \cdot 10^3 \cdot t_1 \cdot a_1}{I_{1\text{н}}} = \frac{10^{-3} \cdot 32 \cdot 10^3 \cdot 11,4 \cdot 2}{56,4} = 12,9. \quad (1.26)$$

Приймаємо $N_1 = 14$ витків (рис 1.3).

Кількість послідовних витків в обмотці фази статора

$$W_1 = \frac{2pqN_{\text{п1}}}{a_1} = 2 \cdot 6 \cdot \frac{2 \cdot 14}{2} = 168 \text{ витків.} \quad (1.27)$$

Переріз ефективного провідника в обмотці статора

$$q_{1\text{еф}} = \frac{I_{1\text{н}}}{a_1 \cdot j} = \frac{56,4}{2 \cdot 5,5} = 5,12 \text{ мм}^2. \quad (1.28)$$

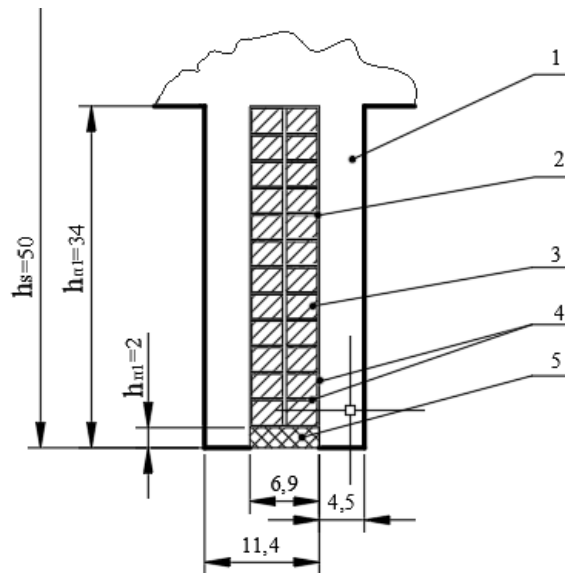


Рис.1.3. Конструктивна система пазу з обмоткою статора КЛАД:
 1 – зубець магнітопроводу статора; 2 – коробка пазова ізоляційна;
 3 – провідник обмотки; 4 – ізоляційний матеріал; 5 – клин-кільце.

Згідно табл. п. 1.2[1] приймаємо провід з прямокутним перерізом $q'_1 = 5,237 \text{ мм}^2$ у типу ПСД ДСТУ 7013-70 за 01000000 умови ширини пазу $b_{п1} = 6,9 \text{ мм}$. Також: а) по меншій стороні - $a_{п1} = 2 \text{ мм}$; б) по більшій стороні - $b_{п1} = 2,8 \text{ мм}$.

Коефіцієнт заповнення пазів ізольованим провідником

$$k_{зп} = \frac{\sum_1^N S_{п}}{S_{п1}} = \frac{N_{п1} \cdot q_1 \cdot a_1}{h'_{n1} \cdot b_{п1}} = \frac{14 \cdot 5,237 \cdot 2}{32 \cdot 6,9} = 0,664, \quad (1.29)$$

де $\sum_1^N S_{п}$ – площа паза в світлу, яку займає обмотка, мм^2 ;

$S_{п1} = h'_{n1} \cdot b_{п1}$ – площа паза, мм^2 .

Уточнене значення щільності струму в обмотці статора

$$j'_1 = \frac{I_{1н}}{a_1 \cdot q'_1} = \frac{56,4}{2 \cdot 5,237} = 5,38 \text{ А/мм}^2. \quad (1.30)$$

Уточнене значення електромагнітного навантаження

$$A'_1 = \frac{I_{1н} \cdot N_{п1} \cdot Z_1}{L'_1 \cdot a_1 \cdot 10^{-3}} = \frac{56,4 \cdot 14 \cdot 72}{825,3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 34,444 \cdot 10^3 \text{ А/м}. \quad (1.31)$$

Попереднє значення основного магнітного потоку

$$\Phi = \frac{k_e \cdot U_{in}}{2k_m \cdot f_1 \cdot w_1 k_{об1}} = \frac{0,96 \cdot 220}{2 \cdot 1,11 \cdot 50 \cdot 168 \cdot 0,95} = 0,01192 \text{ Вб}, \quad (1.32)$$

де $k_M = 1,11$ –
 коефіцієнт форми магнітного поля статора (див. ст. 57 [1]).

Попереднє значення електромагнітної індукції

$$B'_6 = \frac{2p\Phi}{\pi \cdot D_{B1} \cdot L'_1 \cdot 10^{-6}} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 0,01192}{3,14 \cdot 92 \cdot 825,3 \cdot 10^{-6}} = 0,599 \text{ Тл.} \quad (1.33)$$

Розміри обмоткових котушок статора КЛАД

Зовнішній діаметр котушки

$$D_{зк1} = D_{B1} + 2h_{з1} = 92 + 2 \cdot 34 = 160 \text{ мм.} \quad (1.34)$$

Внутрішній діаметр котушки

$$D_{вк1} = D_{B1} + 2h_{к1} = 92 + 2 \cdot 2 = 96 \text{ мм,} \quad (1.35)$$

де $h_{к1}$ – товщина клин-кільця, мм.

Середній діаметр котушки

$$D_{срк1} = \frac{(D_{зк1} + D_{вк1})}{2} = \frac{160 + 96}{2} = 128 \text{ мм.} \quad (1.36)$$

Ширина котушки

$$b_{к1} = b_{п1} - k_{мон} = 6,9 - 0,1 = 6,8 \text{ мм,} \quad (1.37)$$

де $k_{мон} = 0,1$ – монтажний коефіцієнт, мм.

Середня довжина провідника обмотки котушки статора

$$l_{ср1} = \pi \cdot D_{ср} = 3,14 \cdot 128 = 402 \text{ мм.} \quad (1.38)$$

Активний (омічний) опір одної фази обмотки індуктора статора
 КЛАД

$$R_1 = \rho_{Cu} \cdot \frac{W_1 \cdot l_{ср1} \cdot 10^3}{q'_1 \cdot a_1} = 24,4 \cdot 10^{-9} \frac{168 \cdot 402 \cdot 10^3}{5,237 \cdot 2} = 0,1573 \text{ Ом.} \quad (1.39)$$

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання статора

$$\lambda_{п} = \frac{h_{п1} + h_{к1}}{3b_{н1}} = \frac{32 + 2}{3 \cdot 6,9} = 1,642. \quad (1.40)$$

Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання
 статора

$$\lambda_{д1} = 0,9t_1(q_1k_{об1})^2k_{pE1} \cdot k_{н1} \cdot k_g / (\delta \cdot k_\delta) = \quad (1.41)$$

$$= 0,9 \cdot 11,4(2 \cdot 0,95)^2 \cdot 0,96 \cdot 0,834 \cdot \frac{0,0285}{1,5 \cdot 2,46} = 0,220,$$

де при $Z_1/p = 72/6 = 12$, згідно табл. 5.18[1] $k_{pE1} = 0,96$;

Тоді при $q_1 = 2$ для одношарової обмотки $k_g=0,0285$ (див табл. 5.19 [1]) коефіцієнт

$$k_{п1} = 1 - \frac{0,38 \cdot b_{п1}^2}{t \cdot \delta} = 1 - \frac{0,38 \cdot 0,92^2}{11,4 \cdot 1,5} = 0,908 \quad (1.42)$$

(див. вираз 5.75 [1])

Коефіцієнт повітряного проміжку

$$k_{\delta} = k_{\delta 1} \cdot k_{\delta 2} = 1,41 \cdot 1,74 = 2,46,$$

де $k_{\delta 1} = 1 + \frac{b_{п1}}{t_1 - b_{п1} + (5 \cdot \delta \cdot \frac{t_1}{b_{п1}})} = 1 + \frac{6,9}{11,4 - 6,9 + (5 \cdot 1,5 \cdot \frac{11,4}{6,9})} = 1,41;$

$$k_{\delta 2} = 1 + \frac{b_{п2}}{t_2 - b_{п2} + (5 \cdot \delta \cdot \frac{t_2}{b_{п2}})} \quad (1.43)$$

$$= 1 + \frac{8,9}{14,22 - 8,9 + (5 \cdot 1,5 \cdot \frac{14,22}{8,9})} = 1,74.$$

Коефіцієнт провідності розсіювання обмотки індуктора статора КЛАД

$$\lambda_1 = \lambda_{п1} + \lambda_{д1} = 1,642 + 0,246 = 1,666. \quad (1.44)$$

Індуктивний опір розсіювання однієї фази обмотки статора

$$X_1 = \frac{1,58 \cdot l_{ср1} \cdot f_1 w_1^2}{2pq_1 \cdot 10^8} \cdot \lambda_1 = \frac{1,58 \cdot 402 \cdot 50 \cdot 168^2}{2 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 10^8} \cdot 1,666 \quad (1.45)$$

$$= 0,65 \text{ Ом.}$$

1.3. Обмотка короткозамкненого бігуна

Струм кола бігуна в короткозамкненій обмотці

$$I_{кз} = I_2 = 1,1 \cos \varphi I_{1н} \frac{6 \cdot W_1 k_{о61}}{Z_2} = 1,1 \cdot 0,62 \cdot 56,4 \cdot \frac{6 \cdot 168 \cdot 0,95}{58} \quad (1.46)$$

$$= 635,06 \text{ А.}$$

Щільність струму в короткозамкненій обмотці бігуна

$$J_2 = \frac{I_2}{S_{п2}} = \frac{635,06}{267} = 2,38 \text{ А/мм}^2. \quad (1.47)$$

Активний опір короткозамкненої обмотки бігуна

$$R_2 = 10^{-6} \rho_{Al} \cdot \pi D_{кзо2} / S_{п2} = 10^{-6} \cdot 48,8 \cdot 3,14 \cdot 610 / 252 \quad (1.48)$$

$$= 3,7 \cdot 10^{-5} \text{ Ом,}$$

де $D_{\text{кзо}} = (2D_{\text{вн2}} - 2h_{z2})/2 = (2 \cdot 89 - 2 \cdot 28)/2 = 61$ мм – середній діаметр короткозамкненої обмотки бігуна.

Коефіцієнт приведення опору обмотки бігуна до обмотки індуктора статора КЛАД

$$k_{\text{пр1}} = 4 \left(\frac{m_1}{Z_2} \right) (W_1 \cdot K_{\text{об}})^2 = 4 \left(\frac{3}{58} \right) (168 \cdot 0.95)^2 = 5,27 \cdot 10^3. \quad (1.49)$$

Активний опір обмотки бігуна, який приведено до обмотки індуктора статора КЛАД

$$R'_2 = k_{\text{пр1}} \cdot R_2 = 5,27 \cdot 10^3 \cdot 3,7 \cdot 10^{-5} = 0,194 \text{ Ом}. \quad (1.50)$$

Коефіцієнт магнітної провідності пазового розсіювання бігуна

$$\lambda_{\text{п2}} = \frac{h_{\text{п2}}}{3b_{\text{п2}}} = \frac{28}{3 \cdot 8,9} = 1,049. \quad (1.51)$$

Коефіцієнт магнітної провідності диференціального розсіювання бігуна

$$\lambda_{g2} = 0,9 \cdot \frac{t_2 \left(\frac{Z_2}{6p} \right)^2 k_g}{\delta \cdot K_g} = 0,9 \cdot \frac{14,2 \left(\frac{58}{6 \cdot 6} \right)^2 0,035}{1,5 \cdot 2,46} = 0,314, \quad (1.52)$$

де $k_g = 0,035$ згідно рис. 5.17[1] при $q_2 = z_2/3 \cdot 2p=1,6$.

Коефіцієнт магнітної провідності розсіювання обмотки бігуна

$$\lambda_2 = \lambda_{\text{п2}} + \lambda_{g2} = 1,049 + 0,314 = 1,363. \quad (1.53)$$

Індуктивний опір розсіювання обмотки бігуна

$$X_2 = 7,9 \cdot s_{\text{н}} f l_2 \lambda_2 \cdot 10^{-9} = 7,9 \cdot 0,025 \cdot 50 \cdot 825,3 \cdot 1,363 \cdot 10^{-9} \quad (1.54)$$

$$= 1,110 \cdot 10^{-5} \text{ Ом},$$

де $s_{\text{н}} = (0,02 \div 0,03)$ – номінальне ковзання ЛАД; $l_2 = l_1$.

Індуктивний опір розсіювання обмотки бігуна, приведенного до обмотки індуктора статора КЛАД

$$X'_2 = k_{\text{пр1}} \cdot X_2 = 5,27 \cdot 10^3 \cdot 1,110 \cdot 10^{-5} = 0,05811 \text{ Ом}. \quad (1.55)$$

1.4. Магнітне коло коаксіально-лінійного асинхронного електродвигуна

Серцевик статора виконаний з електротехнічної сталі марки 2213 товщиною 0,5 мм. Серцевик бігуна виконаний зі сталі Ст3.

Магнітна напруга повітряного проміжку між індуктором статора і бігуном

$$F_6 = 0,8 \cdot B'_6 \cdot \delta \cdot k_6 \cdot 10^3 = 0,8 \cdot 0,599 \cdot 1,5 \cdot 2,46 \cdot 10^3 = 1768,2 \text{ А.} \quad (1.56)$$

Магнітна індукція в зубці статора

$$B'_{z1} = B'_6 \cdot t_1 / (k_{c1} \cdot b_{z1}) = 0,599 \cdot 11,4 / (0,95 \cdot 4,5) = 1,597 \text{ Тл.} \quad (1.57)$$

Коефіцієнт, який враховує відгалужуючі частини магнітного потоку в пазу

$$K_{п1} = t_1 / (k_{c1} \cdot b_{z1}) = 11,4 / (0,95 \cdot 4,5) = 2,66. \quad (1.58)$$

Магнітна напруга зубцевого шару статора

$$F_{z1} = 10^{-3} \cdot H_{z1} \cdot h_{z1} = 10^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 34 = 51 \text{ А,} \quad (1.59)$$

де напруженість магнітного поля $H_{z1} = 1500 \text{ А/м}$ згідно рис.П2.1[1] при $B'_{z1} = 1,597$ і $K_{п1} = 2,66$.

Магнітна індукція в зубці бігуна

$$B_{z1} = B'_6 t_2 / (b_{z2} k'_{c2}) = 0,599 \cdot 14,2 / (5,33 \cdot 1) = 1,59 \text{ Тл,} \quad (1.60)$$

де $k'_{c2} = 1$ – коефіцієнт заповнення сталі магнітопроводу бігуна (Сталь 3).

Магнітна напруженість зубцевого шару бігуна

$$F_{z2} = 10^{-3} H_{z2} h_{z2} = 10^{-3} \cdot 3960 \cdot 280 = 111 \text{ А,} \quad (1.61)$$

де H_{z2} – напруженість магнітного поля, при $B_{z2} = 1,59 \text{ Тл}$

визначається (див. табл. П. 2.12[1]); беремо 3960 А/м .

Магнітна індукція в спинці магнітопроводу статора

$$B_{c1} = 0,5 \cdot \alpha_1 \tau'_1 B'_6 / h_{c1} k_{c1} = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 68,4 \cdot 0,599 / 15 \cdot 0,95 = 0,93 \text{ Тл.} \quad (1.62)$$

Довжина середньої силової лінії в спинці статора

$$L_{c1} = \frac{\tau'_1 + b_{c1}}{2} + 2 \cdot h_{z1} = 68,4 + 15/2 + 2 \cdot 34 = 143,9 \text{ мм.} \quad (1.63)$$

Магнітна напруженість спинки статора:

$$F_{c1} = 10^{-3} H_{c1} L_{c1} = 10^{-3} \cdot 158 \cdot 143,9 = 22,73 \text{ А,} \quad (1.64)$$

де H_{c1} – напруженість поля в спинці статора при $B_{c1} = 0,92 \text{ Тл}$,

визначається (див. табл. П2.2[1]); приймаємо $H_{c1} = 440 \text{ А/м}$.

Магнітна індукція в спинці магнітопроводу бігуна

$$B_{c2} = \frac{0,5 \alpha_1 \tau'_1 B'_6}{h_{c2} k_{c2}} = 0,5 \cdot 0,64 \cdot 68,4 \cdot \frac{0,599}{15,45} \cdot 1 = 0,849 \text{ Тл.} \quad (1.65)$$

Довжина середньої силової лінії в спинці магнітопроводу бігуна

$$L_{c1} = 5 \cdot t_2 + h_{c1} + 2h_{z2} = 5 \cdot 14,2 + 14,5 + 2 \cdot 28 = 141,5 \text{ мм.} \quad (1.66)$$

Магнітна напруженість в спинці магнітопроводу бігуна

$$F_{c2} = 10^{-3} H_{c2} L_{c2} = 10^{-3} \cdot 748 \cdot 141,5 = 105,8 \text{ А,} \quad (1.67)$$

де H_{c2} – напруженість магнітного поля в стінці бігуна при $B_{c2} = 0,849$ Тл (див. табл. П2.12[1]); беремо $H_{c2} = 748$ А/м.

Сумарна МДС лінійного асинхронного двигуна

$$\sum F = 2F_6 + F_{z1} + F_{z2} + F_{c1} + F_{c2} = 2 \cdot 1768,2 + 51 + 111 + 22,73 + 105,8 = 3721,12 \text{ А.} \quad (1.68)$$

Коефіцієнт посилення магнітного поля двигуна

$$k_M = \sum F / 2F_6 = 3721,12 / (2 \cdot 1106,95) = 1,052. \quad (1.69)$$

Струм контуру намагнічування лінійного асинхронного двигуна

$$I_M = p \sum F / (0,9 \cdot m_1 \cdot W_1 \cdot k_{o61}) = 6 \cdot 3721,12 / (0,9 \cdot 3 \cdot 168 \cdot 0,95) = 51,81 \text{ А.} \quad (1.70)$$

Головний індуктивний опір обмотки статора

$$X_0 = k_e U_{1п} / I_M = 0,96 \cdot 220 / 51,81 = 4,076 \text{ Ом.} \quad (1.71)$$

Головний індуктивний опір обмотки статора

$$X_\mu = X_1 + X_0 = 0,65 + 4,076 = 4,73 \text{ Ом.} \quad (1.72)$$

Коефіцієнт магнітного розсіювання $k_{mp} = X_1 / X_\mu = 0,65 / 4,73 = 0,137$; Оскільки $k_{mp} \leq 0,65$, то E_0 – холостого ходу не розраховується.

Основні магнітні втрати в стінці магнітопроводу статора

$$P_{m.c1} = 1,7 \cdot P_{\frac{1,0}{50}} \cdot B_{c1}^2 \cdot m_{c1} = 1,7 \cdot 2,5 \cdot 0,98^2 \cdot 53,06 = 216,57 \text{ Вт,} \quad (1.73)$$

$$\begin{aligned} \text{де } m_{c1} &= 7,8 \cdot 10^{-6} \cdot L'_1 \pi ((D_{c2})^2 - (D_{B1} - 2h_{z1})^2 - D_{B1}^2) / 4 = \\ &= 7,8(72 + 1) \cdot 0,045 \cdot 3,14((190^2 - (92 + 2 \cdot 34)^2) - 92^2) / 4 = 53,06 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Основні магнітні втрати в зубцях магнітопроводу статора

$$P_{m.z1} = 1,7 \cdot P_{\frac{1,0}{50}} \cdot B_{z1}^2 \cdot m_{z1} = 1,7 \cdot 2,5 \cdot 1,597^2 \cdot 34,5 = 373,95 \text{ Вт,} \quad (1.74)$$

$$\begin{aligned} \text{де } m_{z1} &= 7,8(Z_1 + 1) \cdot b_{z1} \pi ((D_{B1} + 2h_{z1})^2 - D_{B1}^2) / 4 = \\ &= 7,8 \cdot 73 \cdot 0,045 \cdot 3,14 \cdot ((0,16 + 0,056)^2 - 0,16^2) / 4 = 34,5 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Основні магнітні втрати потужності в магнітопроводі статора

$$P_M = P_{M.c1} + P_{M.z1} = 216,57 + 373,95 = 590,5 \text{ Вт.} \quad (1.75)$$

Головний активний опір магнітопроводу індуктора статора ЛАД

$$R_0 = P_M / I_\mu^2 = 590,5 / 51,81^2 = 0,22 \text{ Ом.} \quad (1.76)$$

Активний опір контуру намагнічування магнітопроводу статора ЛАД

$$R_\mu = R_1 + R_0 = 0,1573 + 0,22 = 0,377 \text{ Ом.} \quad (1.77)$$

Висновки. Отримані при розрахунку КЛАД електромеханічні параметри дозволяють розрахувати електромеханічні тягові характеристики.

Основні конструктивні елементи та вузли КЛАД представлені на рис. 1.4.

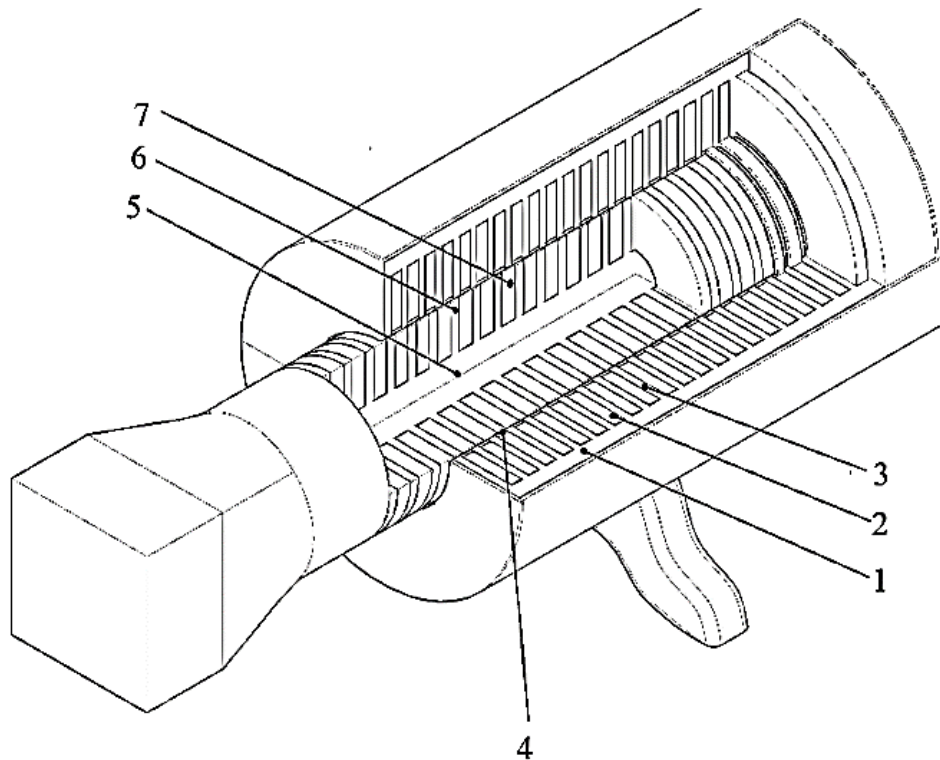


Рис. 1.4. Схематичне зображення КЛАД:

1 – магнітопровід індуктора статора; 2 – обмотка статора; 3 – зубець індуктора кільцевий; 4 – клин кільце; 5 – магнітопровід бігуна; 6 – зубець магнітопроводу бігуна кільцевий; 7 – обмотка бігуна (кільцева).

2. РОЗРАХУНОК ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТИ НА ПРИКЛАДІ МАНІПУЛЯТОРА З КЛАД ГРАФО-АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

2.1. Математичне моделювання електромагнітних тягових характеристик привода робочого органу маніпулятора з КЛАД при різних кутах його дії

Для розрахунку електромеханічної тягової характеристики КЛАД застосуємо вираз:

$$F_{em} = \frac{m_1 U^2 R_2 / s}{v_1 \left((R_1 + R'_2 / s + \xi R_\mu)^2 + (X_1 + X'_2 + \xi X_\mu)^2 \right)} + \frac{\xi m_1 U^2 (R_2 / s + R_1 / (2s - 1))}{v_1 \left((R_1 + R'_2 / s + R_1 / (2s - 1))^2 + (X_1 + X'_2)^2 \right)}, \quad (2.1)$$

$m_1 = 3$ – число фаз;

$v_1 = 6,84$ – швидкість бігучого магнітного поля статора, м/с;

$R_1 = 0,1573$ – активний опір обмотки статора, Ом;

$X_1 = 0,65$ – індуктивний опір обмотки статора, Ом;

$R'_2 = 0,194$ – активний опір обмотки бігуна, який приведено до обмотки індуктора статора КЛАД, Ом;

$X'_2 = 0,0511$ – індуктивний опір розсіювання обмотки бігуна, який приведено до обмотки індуктора статора КЛАД, Ом;

$R_\mu = 0,377$ – активний опір контуру намагнічування магнітопровода статора КЛАД, Ом;

$X_\mu = 4,73$ – індуктивний опір контуру намагнічування магнітопровода статора КЛАД, Ом;

$s = (v_1 - v) / v_1$ – ковзання, де v – швидкість бігуна, м/с;

$v = (1 - s)v_1$ – швидкість переміщення бігуна, м/с;

$\xi = \frac{|\bar{I}_{I2}|}{|\bar{I}_2|} = \frac{1}{2p} = 0,0833$ – коефіцієнт несиметрії струму контурів бігуна ЛАД;

$H = 2$ – переміщення бігуна, м.

За виразами (2.1) з використанням ПЗ Excel розрахована електромагнітна тягова характеристика коаксіально-лінійного двигуна $F_{em} = f(v)$ при зміні ковзання s від 1 до -0,05. Результати розрахунків параметрів електромагнітної тягової характеристики F_{em} та швидкості v

занесені в таблицю 2.1, а вигляд електромеханічної тягової характеристики представлений на рис. 2.4.

Таблиця 2. 1

Розрахункові значення параметрів тягової характеристики КЛАД

S	1	0,9	0,8	0,7	0,65	0,6	0,55
v , м/с	0	0,684	1,368	2,052	2,394	2,736	3,078
F_{em} , Н	3059	3353,1	3697,7	4090,1	4288,2	4449,8	4471,7

Продовження таблиці 2.1

S	0,51	0,48	0,45	0,3	0,25	0,2	0,15
v , м/с	3,3516	3,5568	3,762	4,788	5,13	5,472	5,814
F_{em} , Н	4195,9	3660,1	3017,9	6325,7	7190,4	7849,2	8157,4

Продовження таблиці 2.1

S	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,001	-0,01
v , м/с	6,156	6,498	6,669	6,7716	6,8058	6,83316	6,9084
F_{em} , Н	7627,8	5236,1	2968,7	1256,5	637,7	128,9	-1316,7

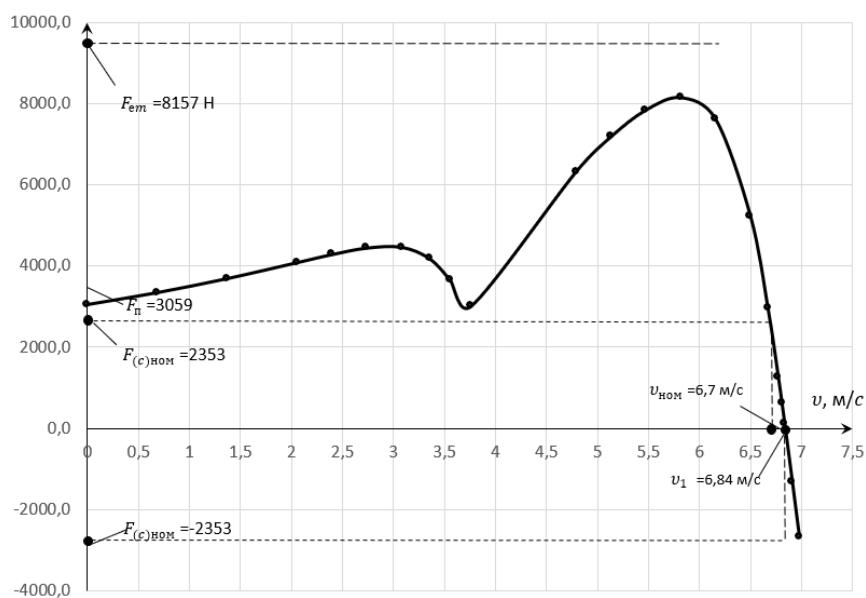


Рис. 2.1. Електромеханічна тягова характеристика КЛАД

При роботі маніпулятора з КЛАД ударної дії складемо диференціальне рівняння (2.1)

$$F_{em(s)} \pm F_c = m \frac{dv}{dt} \quad (2.1)$$

де $F_c = F_n / 1.3$ – статичне навантаження, Н;

$m = F_c / g$ – маса бігуна (ударника), кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

При зміні кута маніпулятора при русі бігуна вгору з урахуванням сухого тертя підшипників ковзання $K_T = 0,1$ диференціальне рівняння має такий вигляд:

$$F_{em(s)} - F_{c(H)} \cdot \sin \alpha - K_T \cdot F_{c(H)} = m \frac{dv}{dt} \quad (2.2)$$

При зміні кута маніпулятора при русі вниз з урахуванням сухого тертя підшипників ковзання диференціальне рівняння має такий вигляд:

$$F_{em(s)} + F_{c(H)} \cdot \sin \alpha - K_T \cdot F_{c(H)} = m \frac{dv}{dt} \quad (2.3)$$

Час перехідного процесу при русі вгору

$$t = \int_0^{v_H} \frac{m}{F_{em(s)} - F_{c(H)} \sin \alpha - K_T F_{c(H)}} dv, \text{ с.} \quad (2.4)$$

Час перехідного процесу при русі вниз

$$t = \int_0^{v_1} \frac{m}{F_{em(s)} + F_{c(H)} \sin \alpha - K_T F_c} dv, \text{ с.} \quad (2.5)$$

Зворотна величина прискорення бігуна при русі вгору

$$a^{-1} = \frac{m}{F_{em(s)} - F_{c(H)} \sin \alpha - K_T F_c}, \text{ с}^2/\text{м.} \quad (2.6)$$

Зворотна величина прискорення бігуна при русі вниз

$$a^{-1} = \frac{m}{F_{em(s)} + F_{c(H)} \sin \alpha - K_T F_c} \text{ с}^2/\text{м.} \quad (2.7)$$

де $m = F_{c(H)} / g = 240 \text{ кг}$ – маса бігуна; $\alpha = 0 \dots 90^\circ$. Будуємо криві залежності $a^{-1} = f(v)$ (рис. 2.2).

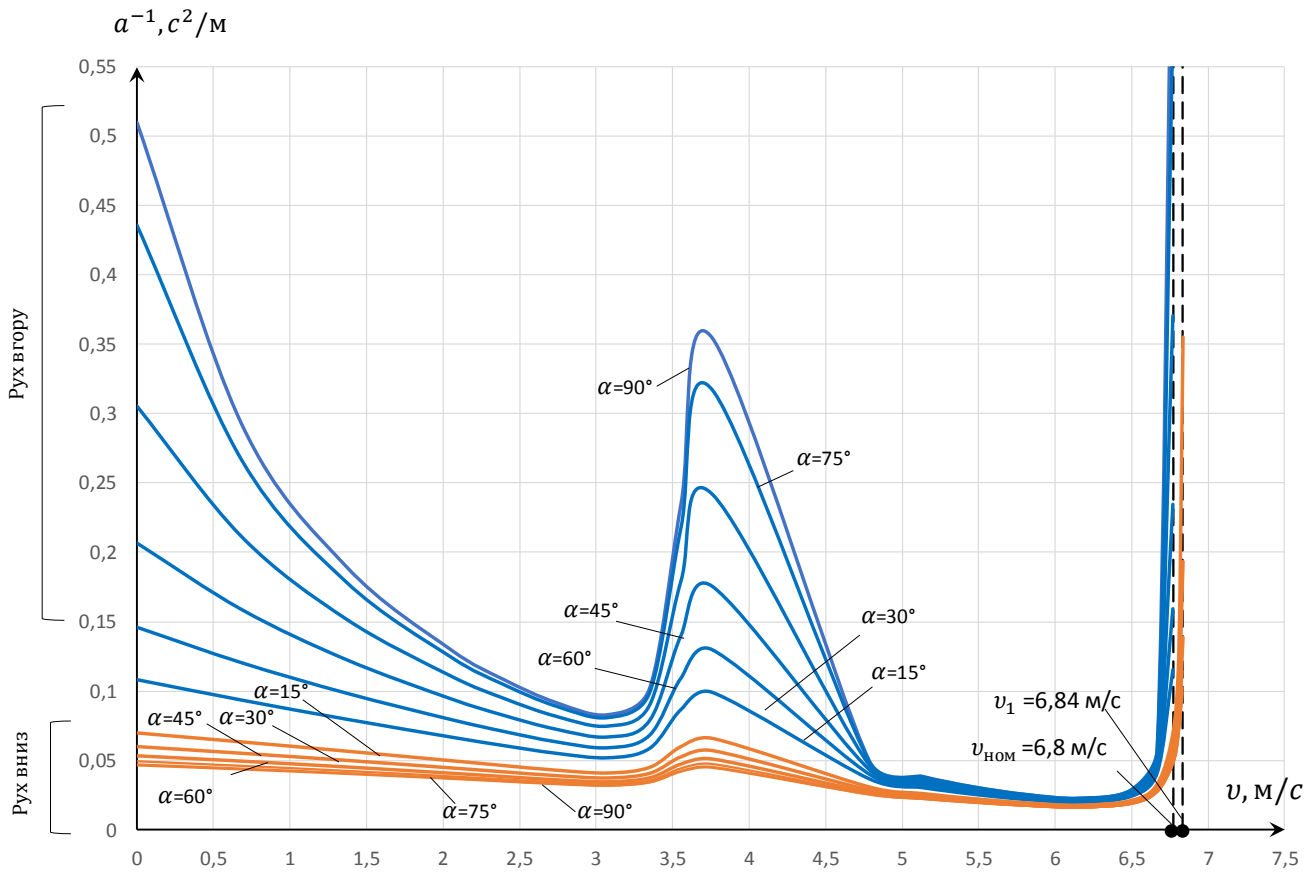


Рис. 2.2. Сімейство характеристик $a^{-1} = f(v)$

Графік залежності $v = f(t)$ (рис.2.3), t_i де t_i - поточний час, с, побудуємо за формулою

$$t_i = \frac{a_i^{-1} + a_{i-1}^{-1}}{2} \cdot \frac{v}{n} + t_{i-1}, \text{ с}, \quad (2.8)$$

де n - кількість частин, на яку розбивається ділянка побудови;

v_{max} - значення швидкості бігуна; $v = (1 - s)v_1$.

Часова залежність руху бігуна в межах швидкості від 0 до 6,84 м/с.

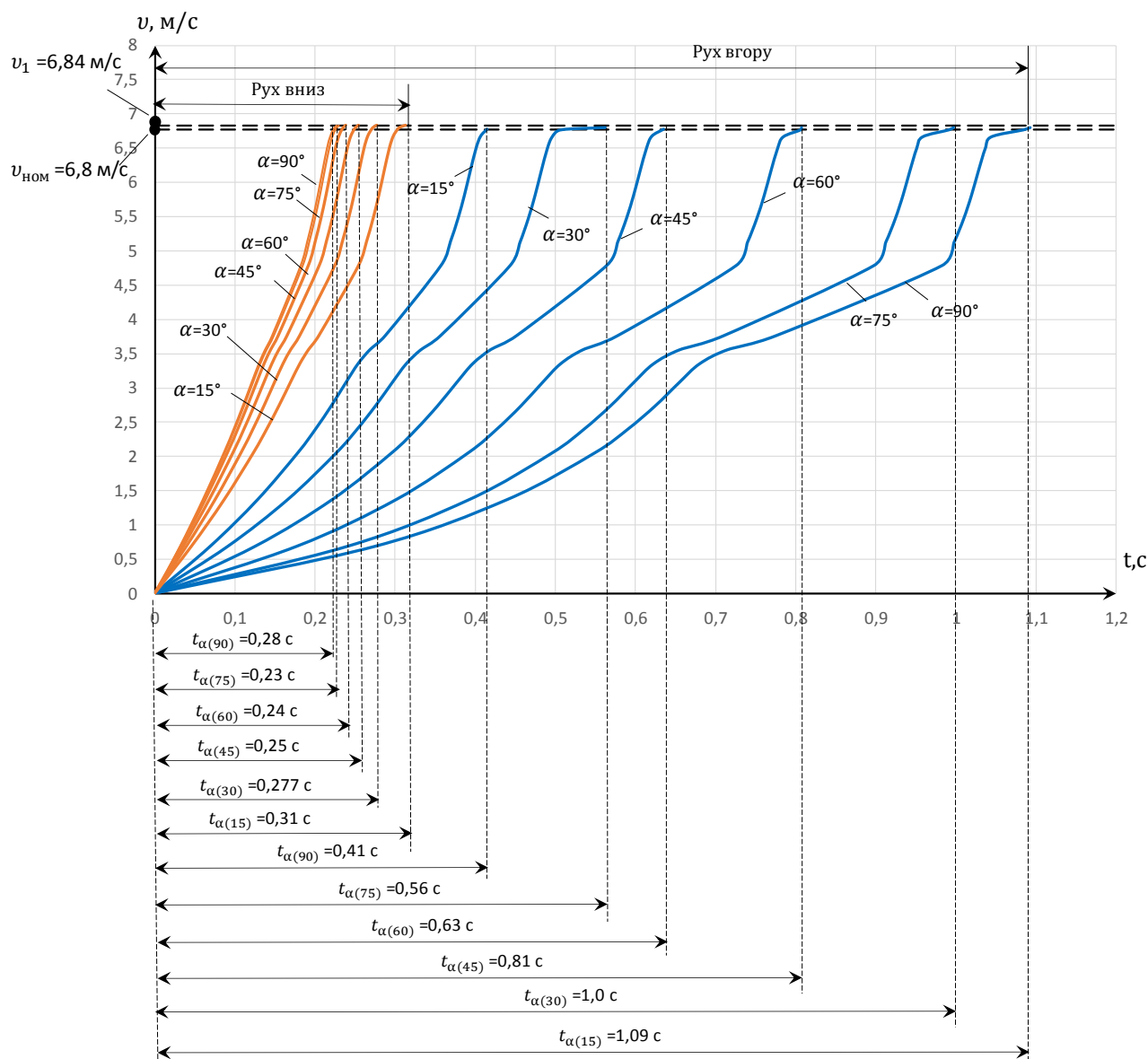


Рис. 2.3. Сімейство характеристик $v = f(t)$

Графік залежності $H = f(v, t)$ побудуємо за формулою

$$H_i = \frac{v_i + v_{i-1}}{2} \cdot \Delta t_i + H_{i-1}, \quad (2.9)$$

де $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ - елементарний час, с; H_i - висота підймання бігуна, м.

Залежність швидкості переміщення бігуна в межах його ходу від 0 до 2,62 м (див. рис. 2.4).

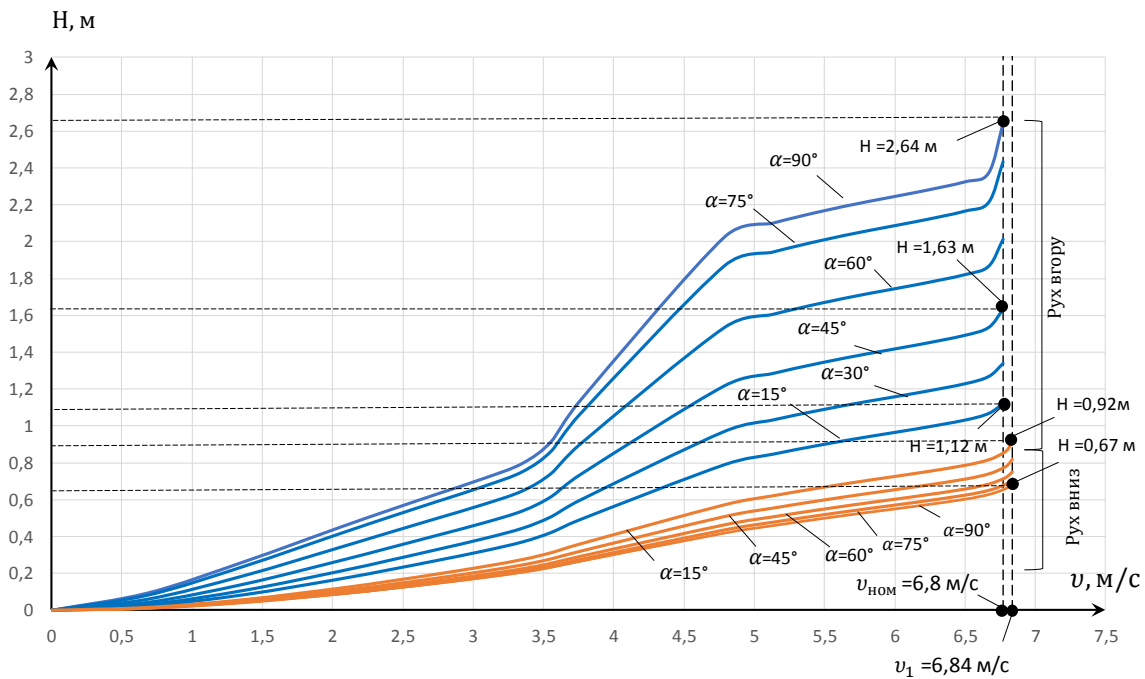


Рис. 2.4. Сімейство характеристик $H = f(v)$

2.2. Циклограма роботи маніпулятора ударної дії ЕМ-КЛАД

Циклограма роботи маніпулятора представлена на рис. 2.5 під $\alpha = 90^\circ$.

Нехай бігун починає вільно падати зі стану спокою без початкової швидкості з прискоренням g . Позначимо початкову висоту ударника над наголовником (ковадлом) через h , час його падіння з цієї висоти до ковадла – через t і швидкість, досягнуту ударником у момент падіння на ковадло – через v . Тоді згідно з формулами:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (2.10)$$

де W_k – кінетична енергія, Дж;

$$W_n = mgh, \quad (2.11)$$

де W_n – потенціальна енергія, Дж.

Ці величини будуть пов'язані наступними співвідношеннями:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{v^2}{2g}; \quad (2.12)$$

$$t = \frac{v}{g} = \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad (2.13)$$

$$v = gt = \sqrt{2gh}. \quad (2.14)$$

Розглянемо тепер рух бігуна, якому надана деяка початкова швидкість v_0 , направлена вертикально вгору (рис.2.5). У цій задачі зручно вважати додатнім напрямком угору. Оскільки прискорення направлене донизу, то рух буде рівномірно - загальмованим із від'ємним прискоренням $-g$ і з додатньою початковою швидкістю. Швидкість цього руху в момент часу t виразиться формулою:

$$v = v_0 - gt, \quad (2.15)$$

а висота підйому у цей момент над початковою точкою – формулою:

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2. \quad (2.16)$$

Коли швидкість бігуна зменшиться до нуля, він досягне найвищої точки підйому. Це відбудеться у момент t_1 , для якого:

$$v_0 - g t_1 = 0. \quad (2.17)$$

Після цього моменту швидкість стане від'ємною і бігун почне падати донизу. Отже, час підйому бігуна :

$$t_1 = \frac{v_0}{g}. \quad (2.18)$$

Підставляючи у формулу (2.18) час підйому t_1 , знайдемо висоту найвищої точки підйому тіла :

$$h = \frac{v_0}{g} - \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{g} = \frac{v_0^2}{2g} \quad (2.19)$$

Подальший рух бігуна можна розглядати як падіння без початкової швидкості з висоти $h = v_0^2/2g$.

Підставляючи цю висоту у формулу (2.14), знайдемо, що швидкість v , якої бігун досягне у момент падіння на землю чи на ковадло, тобто повернувшись у точку, звідки він був підкинутий догори, буде дорівнювати початковій швидкості тіла v_0 (але, звичайно, швидкість буде направлена в інший бік - донизу).

Кінетична енергія, яку може розвинути молот під дією електромагнітної сили

$$W_k = \frac{mv^2}{2}, \quad (2.20)$$

де $v = v(\alpha)$, $m = 240$ кг – маса ударника.

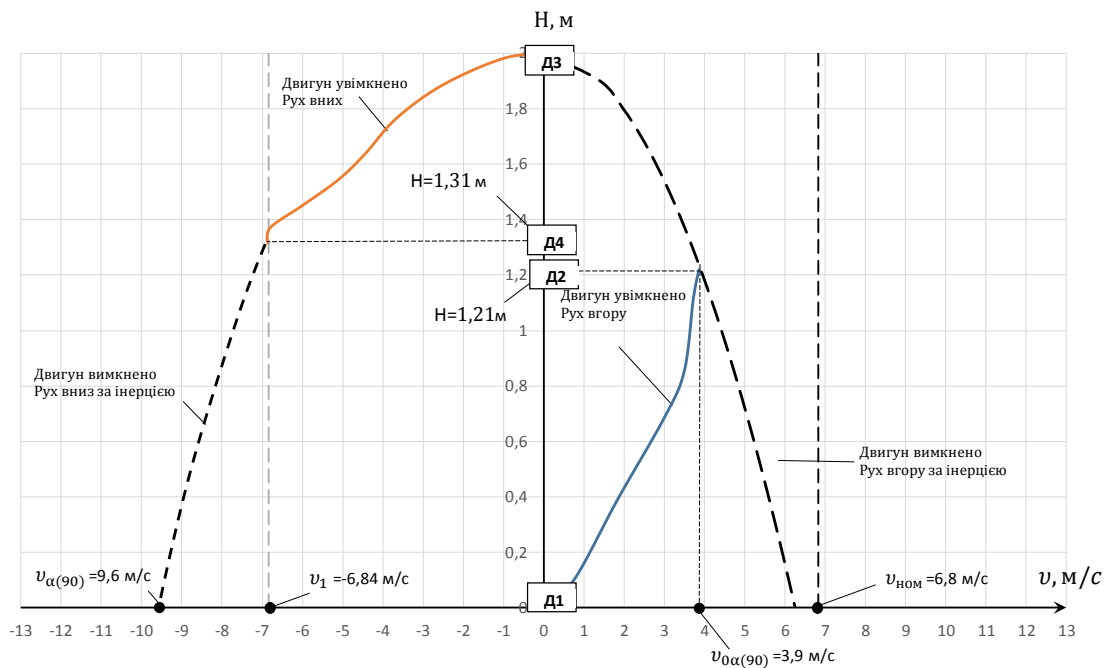


Рис. 2.5. Циклограма руху ударника при $\alpha = 90^\circ$

На рис. 2.5 зображена циклограма роботи МП-КЛАД з екстремальними датчиками положення бігуна при його переміщенні, де крива від датчика Д1 до датчика Д2 визначає рух двигуна уверх. Крива від датчика Д2 до датчика Д3 визначає рух при вимкненні двигуна і русі за інерцією вгору. Крива від датчика Д3 до Д4 визначає рух бігуна вниз за рахунок реверсу двигуна. Крива від датчика Д4 до датчика Д1 визначає рух бігуна під власною вагою. При цьому максимальне значення кінетичної енергії має максимальне значення $W_k = 11059 \text{ Дж} = 11,059 \text{ кДж}$.

2.3. Алгоритм управління та функціональна схема управління ЕМ-КЛАД при $\alpha = 0^\circ \div 90^\circ$

Розробка алгоритму управління технологічним процесом є основним етапом розробки функціональної, структурної і принципової електричної схеми управління автоматизованого електромагнітного молота.

Якісне виконання алгоритму управління електромагнітним молотом для різних видів будівельних робіт залежить від знання технологічного процесу й конструкції пристрою.

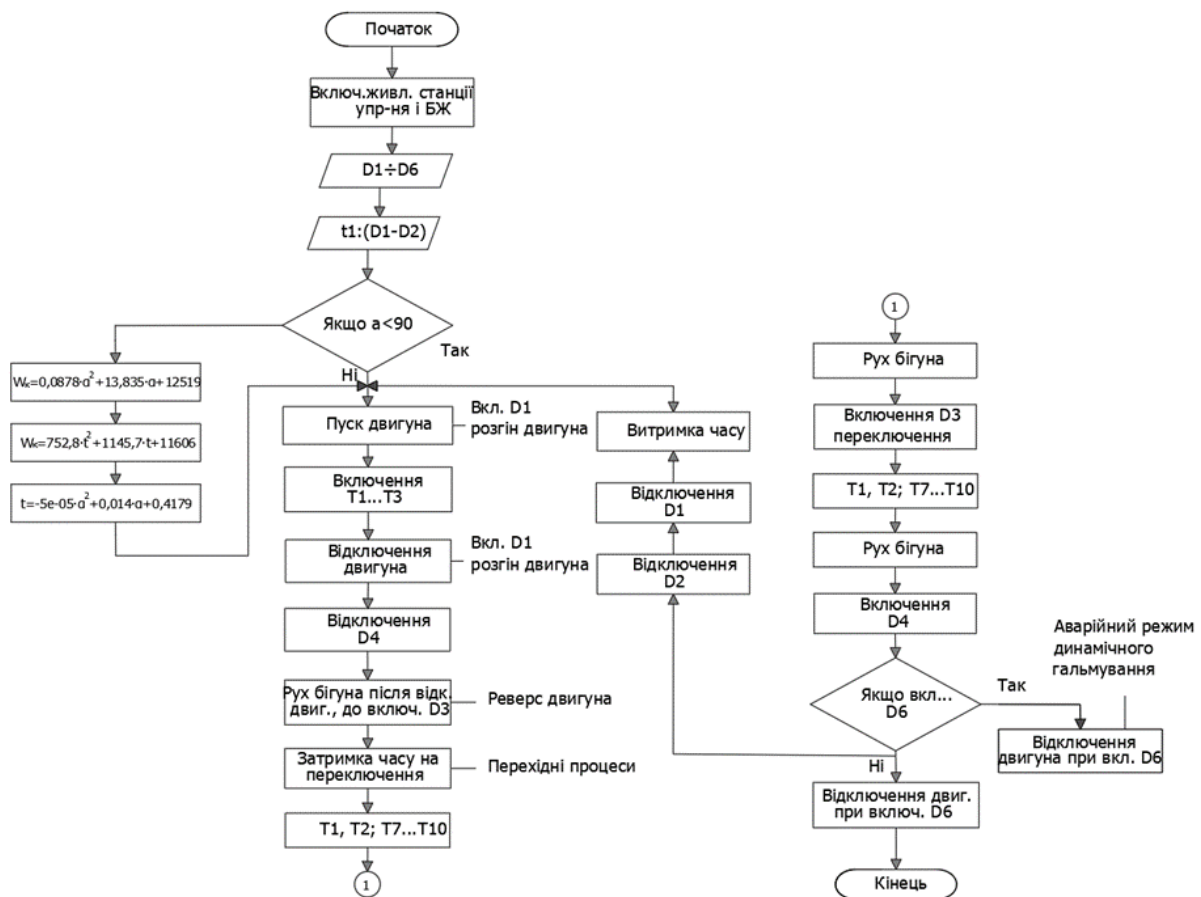


Рис. 2.6. Алгоритм управління молотом ЕМ-КЛАД

2.4. Розробка функціональної схеми управління маніпулятором для руйнування негабаритного матеріалу

Для прикладу візьмемо маніпулятор для руйнування негабаритного матеріалу. На рис.2.7 зображена його функціональна схема управління. На молоті встановлюють датчики положення D1...D5, дані з яких надходять до блоку управління (БУ). Вмикання системи забезпечується пультом управління, де КП - кнопка пуск; КС - кнопка стоп; РН - реле напруги.

Для екстреного гальмування робочого органу використовуємо блок динамічного гальмування (БДГ) та датчик D6. До БДГ входять TV - трифазний трансформатор, VD1 - VD3 - діоди; VS11 – тиристор.

Блоки динамічного гальмування та М1 (вентилятор) підключені через QS1 і QS2 - автоматичні вимикачі. Блок живлення (БЖ) підключений до мережі через КРН(контакти реле напруги). Реверс двигуна забезпечується тиристорним комутатором реверсивним (ТКР), де VS1-VS11 - силові тиристори.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Голенков Г.М. Моделирование тяговых характеристик линейных асинхронных двигателей // Електротехніка і електромеханіка. –
2. Голенков Г.М. Оптимизация параметров линейного асинхронного двигателя с токопроводящим слоем на бегуне методом конечных элементов /Голенков Г.М., Веремеенко А.В. // Електротехніка і електромеханіка. – 2007, №5, с. 9-12.
3. Голенков Г.М. Моделирование работы коммутационного аппарата с комбинированной обмоткой линейного асинхронного двигателя /Голенков Г.М., Веремеенко А.В. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В.Є. Даля. – 2007, №1 (119), с.41-45.
4. Голенков Г.М. Математичне моделювання перехідних процесів лінійних асинхронних електродвигунів // Наукові практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних ситуацій. Збірник наукових статей. – Київ, МНС України, НДПБ, 1999. – С. 28–32.
5. Попков В.С. Методы определения электромеханических характеристик линейного асинхронного двигателя с токопроводящим слоем на бегуне / Попков В.С., Голенков Г.М., Веремеенко А.В., Богаенко М.В. // Електротехніка і електромеханіка. – 2009, №3, с. 17–20.
6. Веремеенко А.В. Распределение магнитной индукции в зазоре коаксиально-линейного асинхронного двигателя с фазной обмоткой на бегуне /Веремеенко А.В., Голенков Г.М., Богаенко М.В., Попков В.С. // Електротехніка і електромеханіка. –
7. ДСТУ 3120-95 Електротехніка. Літерні позначення основних величин. Затверджено та надано чинності наказом Держстандарту України. Київ. від 09 жовтня 1997 р. № 620.

Навчально-методичне видання

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД В БУДІВНИЦТВІ

Методичні вказівки та завдання
до виконання розрахунково-графічної роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка»

Укладач **ГОЛЕНКОВ** Геннадій Михайлович

Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукаревої*

Ум. друк. арк. 1,63. Обл.-вид. арк. ,1,75
Електронний документ. Вид № 95/V-25

Виконавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.