

## ЗМІСТ

стор.

1. Загальні відомості.....	4
2. Завдання на проектування.....	4
3. Методичні вказівки до розрахунку потужності та вибору двигуна.....	7
4. Методичні вказівки до складання електричної схеми електроприводу.....	15
Додатки.....	17
Література.....	22

## 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Курсову роботу орієнтовано на розробку розімкнутого електроприводу з релейно-контактним керуванням.

1.2 В об'єм роботи входить розрахунок потужності, вибір електродвигуна і перевірка його за нагріванням, а також розробка електричної схеми керування електроприводом.

1.3 Результати роботи слід оформити у вигляді пояснювальної записки, оформленої у відповідності до вимог [1] і повинні вміщувати результати розрахунків та пояснення роботи схеми керування приводом. Графічна частина роботи повинна бути оформлена у вигляді електричної схеми керування електроприводом, виконаної з дотриманням вимог відповідних стандартів [2] до електричних схем. Лист із зображенням схеми може входити до складу пояснювальної записки, або становити окреме креслення.

1.4 Варіанти завдання (див. табл.1.1) вибирають згідно з порядковими номерами запису прізвищ студентів у списку академічної групи.

## 2 ЗАВДАННЯ НА ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 За завданою тахограмою та навантажувальною діаграмою механізму (рис.2.1, рис.2.2, табл.1.1) розрахувати попередню потрібну потужність асинхронного двигуна і вибрати його за довідковими даними (додат.А-В).

ПРИМІТКИ. 1. Прийняти, що всі двигуни, зазначені у додат.А-В, мають незалежну вентиляцію.

2. Знак "-" перед значенням (позначенням) моментів у табл.1.1 вказує на реактивний характер моментів механізму.

2.2 Визначити передаточне число приводу, виконати уточнювальну перевірку потужності двигуна з урахуванням динамічних (перехідних) режимів.

2.3 Визначити допущенність застосування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором (АДКР) при завданому числі пусків і за коефіцієнтом завантаження.

З'ясувавши неможливість використання АДКР, повторити процедуру вибору двигуна, орієнтуючись на АДФР.

2.4 Визначити необхідність застосування електромагнітне гальмування для забезпечення завданого часу зупинення приводу.

Таблиця 1.1 Вихідні дані по варіантах

Варіант	Параметри тахограми та навантажувальної діаграми												$J_M$ , кг*м <sup>2</sup>	Пуск у функції
	$t_1$ , С	$t_2$ , С	$t_3$ , С	$t_4$ , С	$t_5$ , С	$t_6$ , С	$t_7$ , С	$t_8$ , С	$n_{Мном}$ , об/хв	$M_0(-M_0)$ , кН*м	$M_1$ , кН*м	$M_2$ , кН*м		
1	2	20	2	5	5	50	5	20	35	0,2	2	-3	500	T
2	4	40	4	10	10	100	10	40	70	0,2	3	-3	1000	Ω
3	1	10	4	20	5	70	5	30	25	0,3	1,8	-1,5	500	Ω
4	6	20	7	15	6	50	4	25	30	0,4	2,2	-3	2000	T
5	9	50	2	50	4	40	2	40	25	0,2	3	-3	3000	T
6	12	60	2,5	30	3	60	4	30	60	0,4	2,5	-4	4000	I
7	4,5	55	2,5	20	3	60	4	30	60	0,4	2,5	-4	300	I
8	4	20	3	30	2	70	3	40	55	0,6	2	-3	2000	I
9	6,7	20	3	25	2	80	3	40	55	0,8	2	-3	500	I
10	2,7	50	3	25	4	80	5	50	65	0,8	2	-3	500	T
11	2,9	50	1	25	4	120	5	50	65	0,7	2	-3	500	T
12	1,2	65	1	35	4	120	3	60	50	0,7	1,5	-2	400	T
13	4	60	1	35	2,5	120	3	60	50	0,6	1,5	-2	2000	T
14	4	60	0,8	30	2,5	80	2	80	45	0,6	1,5	-2	1000	Ω
15	3	50	0,8	30	1,5	80	2	80	45	0,5	1,5	-1	1000	Ω
16	1,2	65	1,5	20	1,5	70	2	80	45	0,4	1,5	-1	500	Ω
17	1,8	70	1,5	25	1,5	60	1,5	100	45	0,3	2	-1	600	Ω
18	2	75	1,5	25	2	40	1,5	100	60	0,4	2	-2	800	I
19	2	75	2	30	2	55	1	120	60	0,2	2	-2	800	I
20	2	75	2	15	2	50	1	120	70	0,2	2	-2	800	I
21	4	40	2	20	3	35	1	180	70	0,6	1	-3	2000	I
22	1	40	4	150	3	120	2	180	40	0,8	1	-3	1000	T
23	1	20	4	150	1,5	120	2	100	40	0,8	1	-3	1000	T
24	2,5	20	4	100	1,5	40	2	100	30	0,8	2	-1	600	T
25	2,5	25	3	100	2	40	3	50	30	0,6	0,8	-1	600	I
26	12	25	3	80	2	20	3	60	50	0,6	2	-1	2000	Ω
27	8	25	2	80	1,5	10	2	60	50	0,3	1	-1	2000	Ω

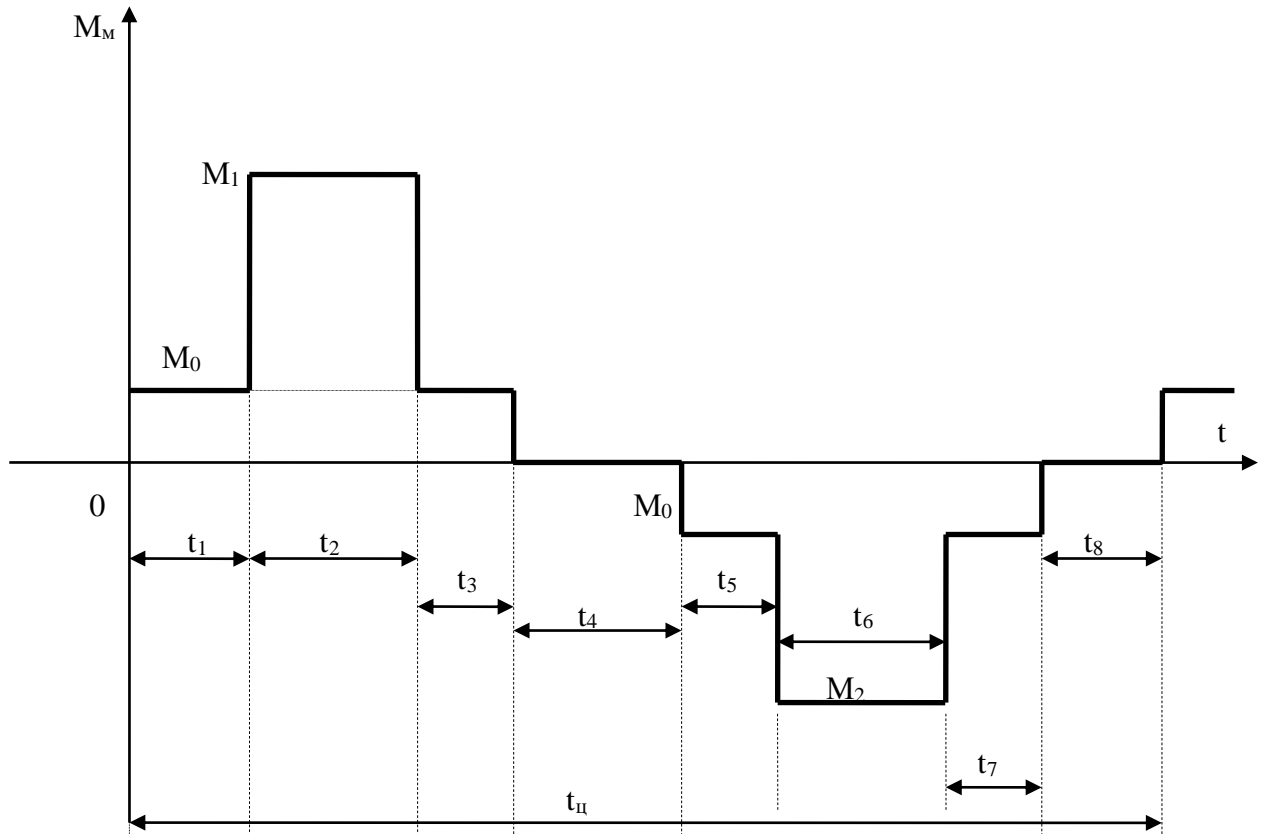


Рисунок 2.1 Навантажувальна діаграма механізму

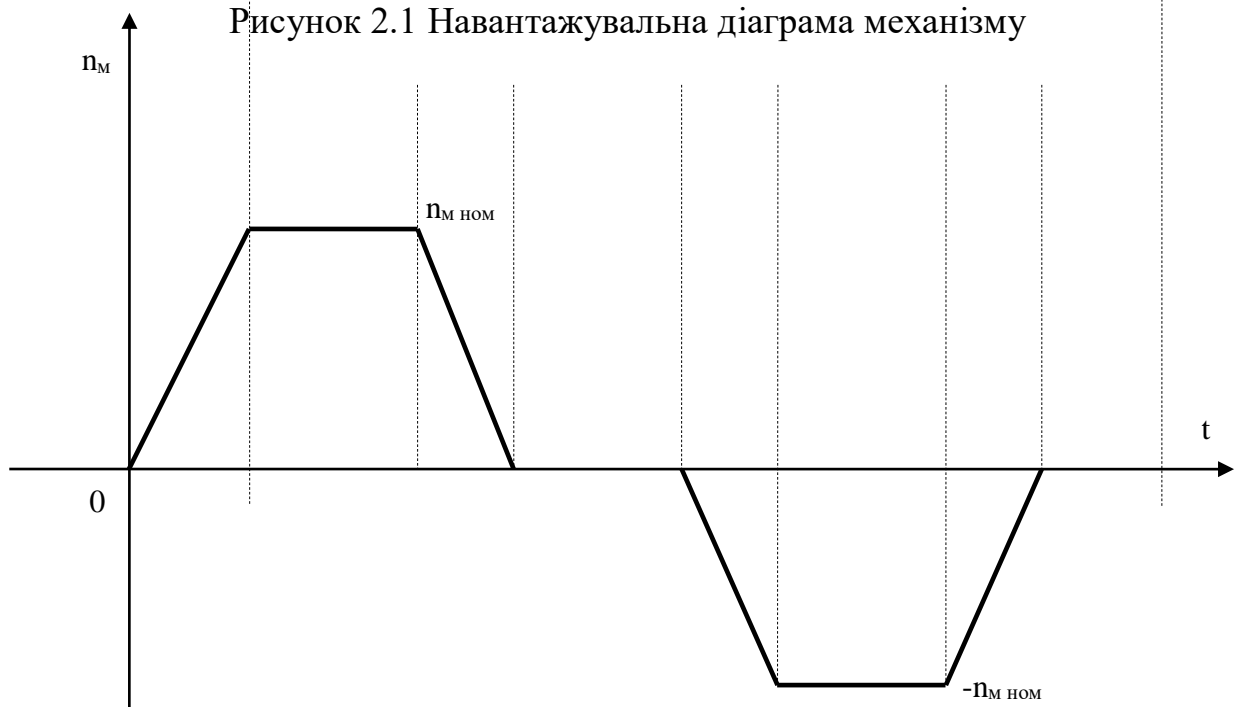


Рисунок 2.2 Тахограма механізму

2.5 Спроекувати схему керування двигуном із застосуванням магнітного контролера, яка забезпечує:

- 1) реостатний пуск двигуна з використанням двоступінчастого реостата (у випадку застосування АДФР) у функції завданої координати приводу (Т-часу,  $\Omega$ -швидкості, I-струму). Для АДКР –прямий пуск;
- 2) електродинамічне гальмування двигуна на кожному інтервалі гальмування (у випадку застосування АДКР), або гальмування противімкненням – у випадку застосування АДФР.

2.6 У схемі керування приводом передбачити:

- 1) захисти двигуна:
  - а) від коротких замикань у силових колах двигуна та оперативних колах;
  - б) від можливих технологічних струмових перевантажень у силових колах двигуна;
  - в) від самозапуску двигуна при відновлюванні живильної напруги після її зникнення (нульове блокування);
- 2) взаємні електричні блокування, виключаючи випадкове одночасне спрацювання комутаційних апаратів, що подають на двигун напругу для прямого та зворотнього напрямків обертання.

### **3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ТА ВИБОРУ ДВИГУНА**

3.1 Вибір двигуна в математичному значенні становить задачу синтезу, в результаті розв'язання якої має бути знайдений такий двигун, який забезпечує завданий технологічний цикл робочого механізму, відповідає умовам навколишнього середовища та компонованню з механізмом робочої машини та при цьому матиме нормативний нагрів.

Вибір двигуна проводиться зазвичай у такій послідовності:

- а) розрахунок потужності та попередній вибір двигуна;
- б) перевірка обраного двигуна за умовами пуску та перевантаження;
- в) перевірка обраного двигуна за нагрівом.

Якщо обраний двигун не відповідає умовам б) або в), тоді обирається інший двигун (більшої потужності) і перевірка повторюється.

3.2 Основою для розрахунку потужності та вибору двигуна є навантажувальна діаграма та діаграма швидкості (тахограма) механізму.

Подані на рис.2.1 і 2.2 тахограма та навантажувальна діаграма відповідають циклічному режимові роботи механізму з постійною швидкістю на інтервалах роботи як за прямого напрямку обертання, так і за зворотнього напрямку.

Спочатку визначається еквівалентна потужність механізму

$$P_{me} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{mi}^2 \cdot \omega_{mi}^2 \cdot t_{pi}}{t_{p\Sigma}}}, \quad (3.1)$$

де  $n$ -кількість ділянок роботи механізму у межах циклу тахограми;  
 $t_{pi}$ - тривалість,  $i$ -ї ділянки роботи, с;  $t_{p\Sigma}$  – сумарний час роботи протягом циклу, с;  $M_{mi}$ - значення моментів механізму на ділянках, Н·м;  
 $\omega_{mi} = \pi n_i / 30$  – значення кутової швидкості механізму на  $i$ -ій ділянці, с<sup>-1</sup>.  
 Значення швидкості на ділянках пуску та гальмування дорівнює середньому значенню швидкості між значенням швидкостей на попередній та наступній ділянках тахограми.

3.3 Еквівалентна потужність двигуна визначається за виразом

$$P_e = K_3 \cdot P_{m\phi}, \quad (3.2)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження;  
 $K_3=1,1-1,4$ .

При легкому пуску ( $M_0 < (0,2-0,3)M_1, M_0 < (0,2-0,3)M_2$ )  $K_3$  рекомендується приймати рівним 1,1. При важкому пуску ( $M_0 > 0,7M_1, M_2$ ) рекомендується приймати  $K_3=1,4$ .

3.4 Визначення фактичної тривалості ввімкнення двигуна дозволяє визначити режим роботи двигуна

$$TB_{\phi}^{\%} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{t_{\phi}} \cdot 100\% = \frac{t_{p\Sigma}}{t_{\phi}} \cdot 100\%. \quad (3.3)$$

Якщо  $TB_{\phi} > 80\%$ , тоді режим роботи двигуна можна віднести до тривалого.

Значенню  $10\% < TB_{\phi} < 80\%$  при часі  $t_{\phi} < 10$ хв відповідає повторно короткочасний режим роботи (ПКР). Інші випадки належать до короткочасного режиму роботи.

3.5 Розрахунок попередньої потужності двигуна ( $P_{попер}$ ) з тривалим режимом роботи зводиться до перерахунку еквівалентної потужності двигуна при неперервному режимові роботи (з  $TB_{НОМ}=100\%$ ):

$$P_{\text{попер}} = P_{\text{де}} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{\text{ном}}}} = P_{\text{де}} \sqrt{\frac{TB_{\phi}^{\%}}{100}} \quad (3.4)$$

Першою чергою треба перевірити можливість застосування АДКР.

Тому за каталогом (довідником) АДКР (додат.А) обирається двигун з номінальною потужністю

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{попер}} \quad (3.5)$$

та виписуються його параметри.

3.6 Для двигунів з ПКР для розрахунку  $P_{\text{попер}}$  еквівалентна потужність перераховується до найближчої номінальної тривалості ввімкнення  $TB_{\text{ном}}$ , яка складає 15, 25, 40, 60%.

$$P_{\text{попер}} = P_{\text{де}} \sqrt{\frac{TB_{\phi}^{\%}}{TB_{\text{ном}}^{\%}}} \quad (3.6)$$

Процедура попереднього розрахунку потужності за цим разом завершується вибором двигуна найближчої більшої потужності за каталогом (довідником) (додат.Б).

3.7 Короткочасний режим визначається стандартними тривалостями робочого періоду: 10, 30, 60 або 90 хв.

В цьому випадку попередня потужність двигуна

$$P_{\text{попер}} = P_{\text{де}} \quad (3.7)$$

З відповідного каталогу обирається двигун так, щоб виконувались вимоги:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{попер}}; t_{\text{ном}} \geq t_{\phi} \quad (3.8)$$

де  $t_{ном}$ ,  $t_{ф}$  – стандартна та фактична тривалість періоду (циклу), відповідно.

Для роботи у короткочасному режимі допускається використання двигунів тривалого та повторно-короткочасного режимів. У першому разі попередня потужність

$$P_{попер} = K \cdot \frac{P_{де}}{0,75 \cdot K_m}, \quad (3.9)$$

де  $K$ - коефіцієнт запасу;  $K=1,1-1,2$ ;  $K_m$ -перевантажувальна здібність двигуна обраної серії.

У другому випадку слід враховувати, що потужність двигуна при  $TВ_{ном}=25\%$  відповідає  $t_{ном}=60$  хв, а при  $TВ_{ном}=15\%$  -  $t_{ном}=30$  хв.

3.8 Для точнішого розрахунку потужності двигуна враховують динамічні режими його роботи у складі приводу механізму. При цьому спочатку моменти опору та моменти інерції приводяться до вала двигуна. Для цього необхідно визначити передаточне число приводу:

$$i = \frac{\omega_{дном}}{\omega_{мном}} = \frac{n_{дном}}{n_{мном}},$$

де,  $\omega_{д ном}$ ,  $\omega_{м ном}$  - номінальна кутова швидкість двигуна та механізму, відповідно.

3.9 Приведений до вала двигуна момент опору механізму (без урахування ККД передачі) визначається на кожній ділянці навантажувальної діаграми за виразом:

$$M_{ci} = \frac{\omega_{mi}}{\omega_{di}} \cdot M_{mi} = \frac{M_{mi}}{i}. \quad (3.10)$$

3.10 Приведений до вала двигуна момент інерції приводу

$$J_{\Sigma} = J_{\partial} + J_m \cdot \frac{1}{i^2}, \quad (3.11)$$

де  $J_{\partial}$  - момент інерції ротора двигуна,  $кг \cdot м^2$ ;  $J_m$  - момент інерції механізму.



3.11 Для початкової перевірки відповідності обраного у п.п.3.5-3.7 двигуна завданому режиму роботи необхідно визначити середні пускові  $M_{ncp}$  та середні гальмувальні моменти  $M_{Гср}$ , які забезпечують розгін двигуна до швидкості  $n_{ном}$  за час  $t_1$  та до швидкості ( $-n_{ном}$ ) за час  $t_5$ , а також гальмування за час  $t_3$  і  $t_7$ :

$$M_{ncp1} = \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{дном}}{t_1}, \quad (3.12)$$

$$M_{ncp2} = \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{дном}}{t_5}, \quad (3.13)$$

$$M_{Гср1} = -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{дном}}{t_3}, \quad (3.14)$$

$$M_{Гср2} = -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt} \approx -\frac{M_0}{i} + J_{\Sigma} \frac{\omega_{дном}}{t_7}. \quad (3.15)$$

Отримання нульового або від'ємного значення  $M_{Гср1}$  або  $M_{Гср2}$  значить, що для забезпечення завданого часу гальмування на даному інтервалі не потрібно застосування електромагнітного гальмування.

Придатність обраного двигуна визначається за умовою, що його середній пусковий момент

$$M_{ncpд} = (K_m + K_n) \cdot M_{ном} \cdot \frac{1}{2}, \quad (3.16)$$

(де,  $K_m = \frac{M_{макс}}{M_{ном}}$ ,  $K_n = \frac{M_n}{M_{ном}}$  - каталожні дані двигуна) дорівнює або перевищує найбільший з потрібних пускових моментів, розрахованих за виразами (3.12), (3.13). Додатково двигун повинен бути перевіраним за пусковим моментом

$$M_n > \frac{M_0}{i} \quad (3.17)$$

та за максимальним моментом

$$M_{\text{макс}} > \frac{M_{\text{мног}}}{i}, \quad (3.18)$$

де  $M_{\text{мног}}$ - найбільше значення моменту механізму на інтервалах роботи. У разі, якщо обраний у п.п.3.5-3.7 АДКР або аналогічний двигун найближчої більшої потужності не пасує за потрібним пусковим моментом, слід переходити на АДФР, вважаючи що його середній пусковий момент  $M_{\text{пер}}$  для перевірки придатності за пусковим моментом може дорівнювати  $0,7M_{\text{макс}}$ .

3.12 Обов'язковою перевіркою для АДКР є перевірка допущеності завданої кількості ввімкнень (циклів).

Допустима для АДКР кількість циклів за годину для двигуна з незалежною вентиляцією при завданій на рис.2.2 формі навантажувальної діаграми визначається за формулою:

$$h_{\text{дон}} = \frac{3600}{2} \cdot \frac{(\Delta P_{\text{ном}} - \Delta P) \cdot TB + \Delta P_{\text{ном}}(1 - TB)}{\Delta A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{г}}} = \frac{3600 \cdot (\Delta P_{\text{ном}} - \Delta P \cdot TB)}{2 \cdot (\Delta A_{\text{п}} + \Delta A_{\text{г}})}, \quad (3.19)$$

де  $\Delta P_{\text{ном}}$ ,  $\Delta P$ - номінальні витрати потужності двигуна та витрати при роботі з постійною потужністю згідно з навантажувальною діаграмою (на інтервалах  $t_2$ ,  $t_6$ ), відповідно;

$\Delta A_{\text{п}}$ ,  $\Delta A_{\text{г}}$  - витрати енергії при пуску та гальмуванні, відповідно.

$$\Delta P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}(1 - \eta_{\text{ном}})}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (3.20)$$

$$\Delta P = \frac{P_2(1 - \eta_{\text{ном}})}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (3.21)$$

де  $P_2 = M_1 \cdot \omega_{\text{мног}}$  – при прямому обертанні;

$P_2 = M_2 \cdot \omega_{\text{мног}}$  – при зворотньому обертанні.

При різних значеннях,  $P_2$  для прямого та зворотнього обертання при розрахунку  $\Delta P$  за (3.21) слід використовувати середньоарифметичне значення  $P_2$ .

$$\Delta A_{nnp} = 2 \frac{M_{ncp1}}{(M_{ncp1} - \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.22)$$

$$\Delta A_{nzv} = 2 \frac{M_{ncp2}}{(M_{ncp2} - \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.23)$$

де  $\omega_0$ -кутова швидкість ідеального ХХ обраного двигуна.

Враховуючи, що витрати енергії при пуску в прямому напрямку  $\Delta A_{nnp}$  та в зворотньому -  $\Delta A_{nzv}$ , зазвичай, не рівні, для підставлення у формулу (3.19) слід використовувати середньоарифметичне значення  $\Delta A_n$  з двох, обчислених за формулами (3.22) та (3.23);

$$\Delta A_{Гпр} = 2 \frac{M_{Гcp1}}{(M_{Гcp1} + \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}, \quad (3.24)$$

$$\Delta A_{Гзв} = 2 \frac{M_{Гcp2}}{(M_{Гcp2} + \frac{M_0}{i})} \cdot J_{\Sigma} \frac{\omega_0^2}{2}. \quad (3.25)$$

Аналогічно, для підставлення у формулу (3.19) слід в якості  $\Delta A_G$  підставляти середньоарифметичне значення  $\Delta A_G$  з двох значень  $\Delta A_{Гпр}$  або  $\Delta A_{Гзв}$ , обчислених за формулами (3.24) та (3.25) для інтервалів гальмування при прямому та зворотньому напрямках обертання відповідно. У разі, коли одне зі значень середнього гальмувального моменту ( $M_{Гcp1}$  або  $M_{Гcp2}$ ) відповідно (3.14) і (3.15) виявилось нульовим або від'ємним, тоді витрата енергії  $\Delta A_G$  для відповідного інтервалу гальмування відсутня, середньоарифметичне значення  $\Delta A_G$  у цьому разі дорівнює  $\Delta A_G / 2$ .

Якщо обчислене згідно (3.19) значення  $h_{доп}$  перевищує завдане тахограмою значення  $h_m$ - число циклів роботи за 1год

$$h_m = \frac{3600}{t_{\psi}}$$

не менш ніж в  $K=1,2-1,3$  рази ( $K$  – коефіцієнт запасу), тоді, відповідно, обраний АДКР припускає завдану частоту ввімкнень.

3.13 Остаточна перевірка двигуна за припущеним нагрівом визначається порівнянням його номінального моменту ( $M_{ном}$ ) з еквівалентним моментом приводу  $M_{ен}$ , перерахованим до стандартного режиму  $= M'_{ен}$

1) для тривалого режиму ця умова має вигляд

$$M_{ном} \geq M'_{ен} = M_{ен} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{100}}, \quad (3.26)$$

2) для повторно-короткочасного режиму

$$M_{ном} \geq M'_{ен} = M_{ен} \sqrt{\frac{TB_{\phi}}{TB_{ном}}}, \quad (3.27)$$

3) для короткочасного режиму роботи при використанні двигуна тривалого режиму (див. формулу (3.9))

$$M_{ном} \geq M'_{ен} = K \cdot \frac{M_{ен}}{0,75 \cdot K_m}. \quad (3.28)$$

У формулах (3.26 – 3.28) значення  $M_{ен}$  визначають з урахуванням приведених до валу двигуна моментів опору відповідно (3.10) і динамічних моментів, визначених за формулами (3.12 – 3.15), що діють у перехідних режимах роботи приводу.

Відповідно зазначеному спочатку знаходять приведені моменти приводу на ділянках роботи

на ділянці  $t_1$ :  $M_{1ен} = M_{ncp1}$ ;

на ділянці  $t_2$ :  $M_{2ен} = M_{c2}$ ;

на ділянці  $t_3$ :  $M_{3ен} = -M_{Гcp1}$  і т.д.;

Відповідно,

$$M_{en} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_{iee}^2 \cdot t_{pi}}{t_{p\Sigma}}}. \quad (3.29)$$

3.14 У разі, якщо для обраного у п.п.3.5-3.7 АДКР не виконується умова застосування по допущеній частоті ввімкнень на годину, слід перейти до варіанту застосування АДФР тієї ж потужності, з урахуванням застосування для нього режиму ступінчастого реостатного пуску та режиму гальмування противвімкненням із ввімкненням додаткового реостата в ланцюг ротора. Зазначені обставини дозволяють різко знизити витрати енергії двигуна в перехідних режимах та не обчислювати з цієї причини  $h_{доп}$ .

Обраний АДФР (див. дод.В) повинен задовольняти (3.16), (3.18) взявши до уваги п.3.11, а також (3.26 – 3.28).

#### **4 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ**

Електрична схема електроприводу містить ланцюг живлення двигуна (силовий ланцюг) та схему керування електроприводом (оперативна схема).

Ланцюг живлення двигуна повинен містити необхідні захисні та комутаційні апарати, які забезпечують подання напруги для прямого та зворотнього обертання, захист від коротких замикань у двигуні та струмових перевантажень.

Схема керування повинна бути виконана із використанням магнітного контролера та необхідних апаратів керування, що забезпечують вимоги, зазначені у п.2.6.

Прикладів типових схем керування пуском та гальмуванням електродвигунів наведено в [4, гл.5], [3, гл.10], [5, р.8].

Переведення приводу в режим електромагнітного гальмування слід здійснювати лише на деякий час, відповідний зниженню швидкості двигуна до нуля.

На рис.4.1 подано фрагмента схеми керування приводом, що забезпечує гальмування противвімкненням АДФР на фіксований час, завданням реле часу  $KT_1$  ( $KT_2$ ).

При роботі приводу у напрямку "вперед" (контролер SA1 – у положенні "В") котушка пускача KM1 отримує живлення через замкнені контакти SA1.1 та KM2. Силкові контакти KM1 забезпечують подання на обмотку статора двигуна M1 трьохфазної напруги живлення з прямим порядком чергування фаз. Реле часу  $KT_1$ , катушка якого отримує живлення через контакт SA1.1, тримає замкненим свій контакт  $KT_1$ , підключений до контакту SA1.3. При переведенні SA1 в положення "О"(вимкн.) котушки  $KT_1$  та KM1 гублять живлення,

внаслідок чого блок-контакт КМ1 в колі живлення КМ2 замикається та катушка КМ2 отримує живлення через SA1.3, КТ1, КМ1 та замикає свої контакти КМ2, що забезпечує подання на обмотку статора, напругу зі зворотнім порядком чергування фаз. Реле КТ1 починає відлік витримки часу на розімкнення свого контакту КТ1. Протягом цього часу двигун знаходитиметься в режимі гальмування противімкненням (припускають, що протягом зазначеного відрізка часу двигун не встигне після зупинки почати розгін у протилежному напрямку обертання).

Протягом часу гальмування контакти пускача КМ3 повинні бути розімкнуті, бо опір  $R_n$  в ланцюгу ротора мусить забезпечувати обмеження гальмувальних струмів двигуна. Аналогічно забезпечується гальмування приводу при переведенні контролера з положення "Н" у положення "О".

Подібний принцип підімкнення до двигуна додаткових силових ланцюгів, що забезпечують потрібний режим гальмування на час, визначене реле часу, можливо використати й при реалізації режиму електродинамічного гальмування.

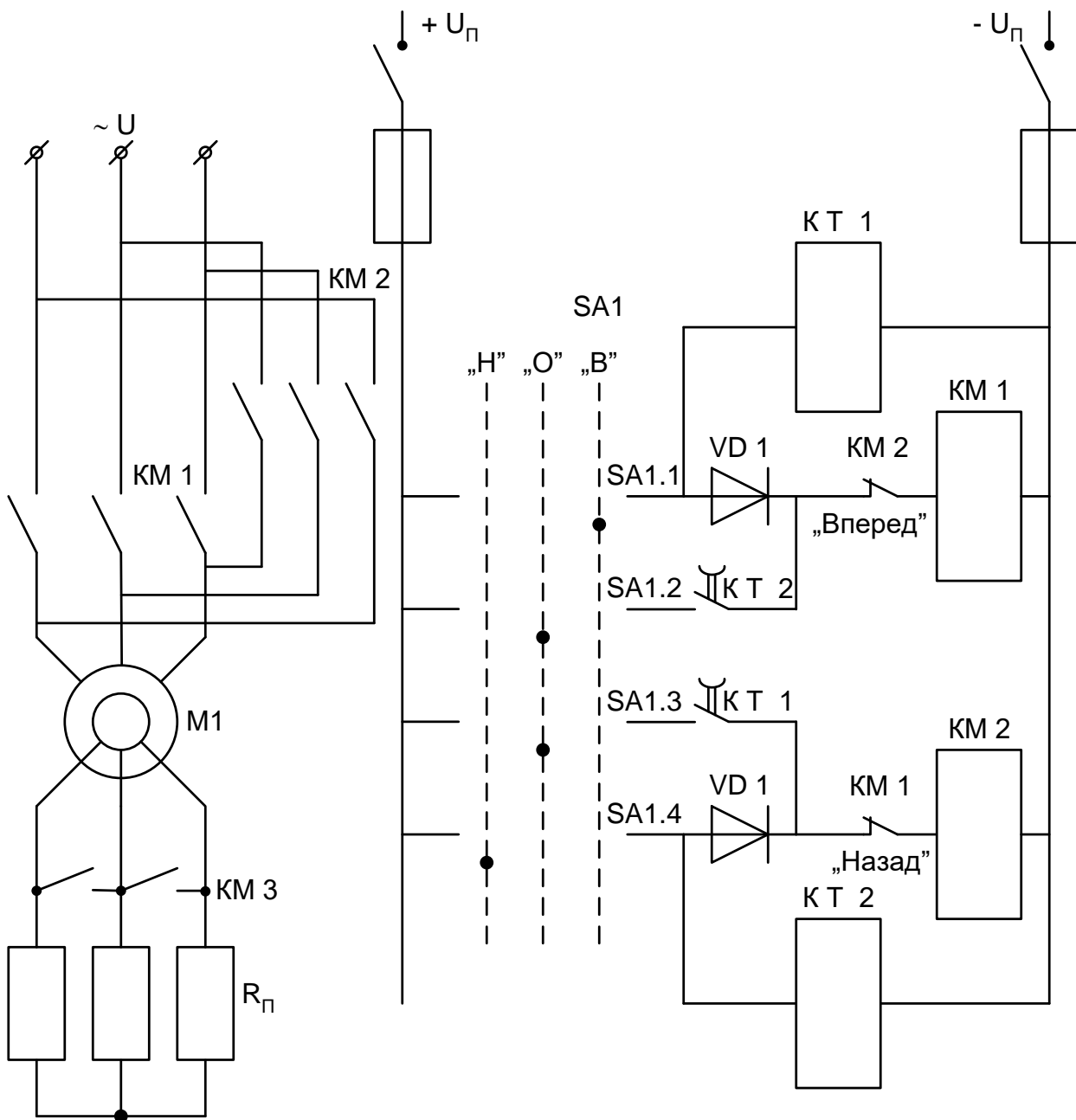


Рисунок 4.1  
Додаток А

**Технічні дані двигунів серії 4А з підвищеним пусковим моментом (4АР)**

Типорозмір двигуна	Потуж- ність, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД, %	cos φ	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент інерції, кг*м <sup>2</sup>
-----------------------	-------------------------	--------------------------------	-----------	-------	-----------------------	-----------------------	---------------------------	---------------------------	---

Синхронна частота обертання 1500 об/хв

4AP160S4Y3	15	1465	87,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,1
4AP160M4Y3	18,5	1465	88,5	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,13
4AP180S4Y3	22	1460	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,19
4AP180M4Y3	30	1460	90	0,87	7,5	2	1,6	2,2	0,23
4AP200M4Y3	37	1470	91	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,37

4AP200L4Y3	45	1470	92	0,88	7,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M4Y3	55	1475	92,5	0,88	7	2	1,6	2,2	0,64
4AP250S4Y3	75	1475	93	0,87	7,5	2	1,6	2,2	1,02
4AP250M4Y3	90	1475	93	0,88	7,5	2	1,6	2,2	1,2

Синхронна частота обертання 1000 об/хв

4AP160S6Y3	11	975	85,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,14
4AP160M6Y3	15	975	87,5	0,83	7	2	1,6	2,2	0,18
4AP180M6Y3	18	970	87	0,8	6	2	1,6	2,2	0,22
4AP200M6Y3	22	975	90,5	0,85	6,5	2	1,6	2,2	0,4
4AP200L6Y3	30	975	90,5	0,86	6,5	2	1,6	2,2	0,45
4AP225M6Y3	37	980	90,5	0,84	7	2	1,6	2,2	0,74
4AP250S6Y3	45	980	91,5	0,82	6,5	2	1,6	2,2	1,15
4AP250M6Y3	55	980	91,5	0,83	6,5	2	1,6	2,2	1,26

Синхронна частота обертання 750 об/хв

4AP160S8Y3	7,5	730	86	0,75	6	1,8	1,5	2	0,14
4AP160M8Y3	11	730	87	0,75	6	1,8	1,5	2	0,18
4AP180M8Y3	15	730	86,5	0,77	5,5	1,8	1,5	2	0,25
4AP200M8Y3	18,5	730	88	0,78	5,5	1,8	1,5	2	0,4
4AP200L8Y3	22	730	88,5	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,45
4AP225M8Y3	30	735	90	0,8	5,5	1,8	1,5	2	0,74
4AP250S8Y3	37	735	90	0,72	5,5	1,8	1,5	2	1,15
4AP250M8Y3	45	735	90,5	0,75	5,5	1,8	1,5	2	1,36

### Додаток Б

Таблиця Б.1 Технічні дані двигунів серії 4А з підвищеним ковзанням (4АС)  
при ТВ = 40%

Типорозмір двигуна	Потужність кВт, при ТВ=40%	Ковзання %	Частота обертання, об/хв	ККД, %	cos φ	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент інерції, $10^{-2}$ кг*м <sup>2</sup>
-----------------------	----------------------------------	---------------	--------------------------------	-----------	-------	-----------------------	---------------------------	---------------------------	---

Синхронна частота обертання 3000 об/хв

4АС71А2У3	1	10	2700	72	0,87	2	1,6	2,2	0,098
4АС71В2У3	1,2	10	2700	72	0,83	2	1,6	2,2	0,105
4АС80А2У3	1,9	8,5	2745	75	0,87	2	1,6	2,2	0,18



4AC80B2Y3	2,5	8,5	2745	76	0,87	2	1,6	2,2	0,212
4AC90L2Y3	3,5	7,5	2775	80	0,86	2	1,6	2,2	0,35
4AC100S2Y3	4,8	6,5	2805	82	0,86	2	1,6	2,2	0,59
4AC100L2Y3	6,3	6,5	2805	82	0,86	2	1,6	2,2	0,75
4AC112M2Y3	8	5	2850	84	0,84	2	1,6	2,2	1
4AC132M2Y3	11	5,5	2840	84	0,89	2	1,6	2,2	1,25

Синхронна частота обертання 1500 об/хв

4AC71A4Y3	0,6	10	1350	68	0,73	2	1,6	2,2	0,13
4AC71B4Y3	0,8	10	1350	68,5	0,75	2	1,6	2,2	0,14
4AC80A4Y3	1,3	9,5	1358	68,5	0,82	2	1,6	2,2	0,32
4AC80B4Y3	1,7	11	1335	70	0,82	2	1,6	2,2	0,33
4AC90L4Y3	2,4	9,5	1360	76	0,82	2	1,6	2,2	0,56
4AC100S4Y3	3,2	7	1395	76,5	0,82	2	1,6	2,2	0,87
4AC100L4Y3	4,25	7	1395	78	0,82	2	1,6	2,2	1,12
4AC112M4Y3	5,6	7	1395	79	0,83	2	1,6	2,2	1,66
4AC132S4Y3	8,5	7,5	1395	82,5	0,85	2,6	1,6	2,8	2,83
4AC132M4Y3	11,8	6	1410	84	0,85	2	1,6	2,2	4
4AC160S4Y3	17	5	1425	84,5	0,86	2	1,6	2,2	10,25
4AC160M4Y3	20	4,5	1432	87	0,87	2	1,6	2,2	12,75
4AC180S4Y3	21	5,5	1418	86	0,92	2	1,6	2,2	19
4AC180M4Y3	26,5	4	1440	88,5	0,91	2	1,6	2,2	23,25
4AC200M4Y3	31,5	6	1410	87,5	0,92	2	1,6	2,2	37
4AC200L4Y3	40	6	1410	89	0,93	2	1,6	2,2	47
4AC225M4Y3	50	7	1395	87,5	0,92	2	1,6	2,2	64
4AC250S4Y3	56	8	1380	87,5	0,92	2	1,6	2,2	102
4AC250M4Y3	63	9	1365	87	0,93	2	1,6	2,2	1,17

Синхронна частота обертання 1000 об/хв

4AC71A6Y3	0,4	8	920	62,5	0,7	2	1,6	2,1	0,17
4AC71B6Y3	0,63	8	920	65	0,7	2	1,6	2,1	0,2
4AC80A6Y3	0,8	14	860	61	0,68	2	1,6	2,1	0,25

Продовження таблиці Б.1

Типорозмір двигуна	Потужність кВт, при ТВ=40%	Ков-зання, %	Частота обертання, об/хв	ККД, %	Cos φ	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	$\frac{M_{min}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	Момент інерції, 10 <sup>-2</sup> кг*м <sup>2</sup>
--------------------	----------------------------	--------------	--------------------------	--------	-------	-----------------------	---------------------------	---------------------------	--

Синхронна частота обертання 1000 об/хв

4AC80B6Y3	1,2	14	860	66,5	0,73	2	1,6	2,1	0,35
4AC90L6Y3	1,7	10	900	71	0,72	1,9	1,6	2,1	0,73
4AC100L6Y3	2,6	8	920	75	0,76	1,9	1,6	2,1	1,31
4AC112MA6Y3	3,2	9	910	72	0,74	1,9	1,6	2,1	1,72
4AC112MB6Y3	4,2	9	910	75	0,79	1,9	1,6	2,1	2,11

4AC132S6Y3	6,3	6	940	79	0,8	1,9	1,5	2,1	4
4AC132M6Y3	8,5	6	940	80	0,8	1,9	1,5	2,1	5,75
4AC160S6Y3	12	6	940	82,5	0,85	1,9	1,5	2,1	14,25
4AC160M6Y3	16	6	940	84	0,85	1,9	1,5	2,1	18,25
4AC180M6Y3	19	6	940	84,5	0,9	1,9	1,5	2,1	22
4AC200M6Y3	22	9	910	83,5	0,92	1,9	1,5	2,1	40
4AC200L6Y3	28	8	920	85,5	0,91	1,9	1,5	2,1	45
4AC225M6Y3	33,5	12	880	81	0,91	1,9	1,5	2,1	74
4AC250S6Y3	40	5	950	89	0,9	1,9	1,5	2,1	116
4AC250M6Y3	45	5	950	86,5	0,88	1,9	1,5	2,1	126

Синхронна частота обертання 750 об/хв

4AC71B8Y3	0,3	11	670	50	0,61	1,9	1,6	2	0,185
4AC80A8Y3	0,45	12	660	53,5	0,61	1,9	1,6	2	0,34
4AC80B8Y3	0,6	12	660	58	0,63	1,9	1,6	2	0,41
4AC90LA8Y3	0,9	12	660	61	0,65	1,8	1,6	2	0,68
4AC90LB8Y3	1,2	12	660	65	0,64	1,8	1,6	2	0,86
4AC100L8Y3	1,6	10	675	69	0,63	1,8	1,6	2	1,3
4AC112MA8Y3	2,2	10,5	670	68	0,65	1,8	1,6	2	1,75
4AC112MB8Y3	3,2	10,5	670	72	0,7	1,8	1,6	2	2,4
4AC132S8Y3	4,5	8	690	76	0,7	1,8	1,6	2	4,25
4AC132M8Y3	6	8	690	77	0,7	1,8	1,6	2	5,8
4AC160S8Y3	9	8	690	81,5	0,8	1,8	1,5	2	13,75
4AC160M8Y3	12,5	9	688	82,5	0,79	1,8	1,5	2	17
4AC180M8Y3	15	7	700	83,5	0,83	1,8	1,5	2	25
4AC200M8Y3	20	8	690	83,5	0,85	1,8	1,5	2	40
4AC225M8Y3	26,5	10	675	83	0,85	1,8	1,5	2	74
4AC250S8Y3	36	7,5	694	85	0,85	1,8	1,5	2	113

Продовження додатка Б

Таблиця Б.2 Значення потужності, кВт, двигунів серії 4А з підвищеним ковзанням (4АС) у режимі S3 при різних ТВ

Типорозмір двигуна	Синхронна частота обертань, об/хв											
	1500				1000				750			
	Тривалість включення ТВ, %											
	15	25	60	100	15	25	60	100	15	25	60	100
4AC71A	0,8	0,65	0,6	0,6	0,45	0,4	0,4	0,4	-	-	-	-
4AC71B	1,1	0,9	0,8	0,7	0,8	0,65	0,65	0,5	0,35	0,3	0,3	0,2
4AC80A	1,6	1,3	1,1	0,95	1	0,9	0,7	0,5	0,55	0,5	0,45	0,35
4AC80B	2,1	1,7	1,5	1,3	1,5	1,3	1,1	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4
4AC90LA	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,9	0,8	0,7
4AC90LB	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	1,2	1	0,8
4AC90L	3,1	2,4	2,2	1,9	2,2	1,8	1,3	1,1	-	-	-	-
4AC100S	4	3,7	2,8	2,3	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC100L	5,5	5	3,8	3,3	3,1	2,9	2,2	1,8	1,8	1,6	1,5	1,2
4AC112MA	-	-	-	-	4,5	3,8	2,8	2,5	3	2,6	1,9	1,5
4AC112MB	8	6,7	5	4,2	5,6	5	3,8	3,2	4,2	3,6	2,5	1,9
4AC132S	11,8	9,5	7,5	7,1	8,5	7,5	6	4,5	6	5	3,6	2,6
4AC132M	16	14	10,5	9	11	10	7,5	6,3	8,5	7,1	5	3,6
4AC160S	22	19	15	13	16	14	11	10	11	10	8	7
4AC160M	25	23	18,5	17	21	19	15	13	16	14	11	10
4AC180S	26,5	24	20	19	-	-	-	-	-	-	-	-
4AC180M	32	30	25	24	22	20	17	16	19	17	14	13
4AC200M	42	35	28	26	28	25	20	18	26,5	24	19	16
4AC200L	50	47,5	37,5	35	40	33	25	23	-	-	-	-
4AC225M	63	55	45	40	40	35	28	25	33,5	30	24	22
4AC250S	75	63	53	50	56	45	36	33,5	45	45	30	26,5
4AC250M	80	71	60	56	60	53	40	36	-	-	-	-

Додаток В

**Технічні дані металургійних двигунів серії МТН з фазним ротором 50 Гц,  
220/380, 240/415, 400 и 500 В**

Тип електродви- гуна	$P_{ном}$ , кВт, при ТВ=40%	Частота обертання, об/хв	$\cos\varphi$	ККД, %	Максимальний момент, Н*м	J, кг*м <sup>2</sup>
МТН111-6	3	895	0,67	65	85	0,0488
МТН112-6	4,5	910	0,71	69	120	0,0675
МТН211-6	7	920	0,64	73	200	0,115
МТН311-6	11	940	0,69	78	320	0,225
МТН312-6	15	950	0,73	81	480	0,313
МТН411-6	22	960	0,73	82,5	650	0,5
МТН412-6	30	965	0,71	84,5	950	0,675
МТН512-6	55	960	0,79	88	1660	1,018
МТН611-6	75	950	0,85	87	2660	3,275
МТН612-6	95	960	0,85	88	3650	4,125
МТН613-6	118	965	0,84	90	4750	5,1
МТН311-8	7,5	690	0,68	71,5	270	0,275
МТН312-8	11	700	0,69	78	430	0,313
МТН411-8	15	705	0,67	79	580	0,538
МТН412-8	22	715	0,63	80,5	900	0,75
МТН511-8	28	705	0,72	83	1020	1,075
МТН512-8	37	705	0,74	85	1400	1,425
МТН611-10	45	570	0,72	84	2360	4,25
МТН612-10	60	565	0,78	86	3200	5,25
МТН613-10	75	575	0,72	88	4200	6,25
МТН711-10	100	584	0,69	89,5	4650	10,25
МТН712-10	125	585	0,7	90,3	5800	12,75
МТН713-10	160	586	0,68	91	7450	15,0

## ЛІТЕРАТУРА

1. Структура и содержание дипломного и курсового проектов. Требования и правила оформления. Методические указания к оформлению пояснительной записки курсовых и дипломных проектов для студентов специальности „теплоэнергетика”/ Сост. Л. Ф. Колесник, Запорожье: ЗГИА, 2002. – 38с.
2. Графическое оформление электрических схем по ЕСКД: Справ./ Сост.: С.Т. Усатенко, М.В.Терехова - К.: ЛВК, 2003. – 216с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576с.
4. Фотиев М.М. Электропривод и электрооборудование металлургических цехов. – М.: Металлургия, 1990. – 352с.
5. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А.Елисеева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616с.
6. Справочник по электрическим машинам, в 2-х т., т.1 / Под общей ред. Копылова, М.: Энергоатомиздат, 1988. – 420с.