

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

**ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ,
ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ У
СІЛЬСЬКОМУ І ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ КУРСОВИХ І
ДИПЛОМНИХ РОБІТ**

Київ – 2015

УДК 62-83.01(076.5)

Рекомендовано до видання Вченою радою факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (протокол №2 від 22 вересня 2015 року).

Укладачі: Ромасевич Ю.О., Рибалко В.М., Матухно Н.В.

Рецензенти: **Роговський І.Л.**, к.т.н., доц., доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка Національного університету біоресурсів і природокористування України;
Гуменюк Ю.О., к.т.н., доц., доцент кафедри сільськогосподарських машин та системотехніки ім. акад. П.М. Василенка Національного університету біоресурсів і природокористування України.

ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ ВИРОБНИЧІ ПРОЦЕСИ У СІЛЬСЬКОМУ І ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ: методичні вказівки для виконання курсових і дипломних робіт для студентів напряму підготовки 6.050503 „Машинобудування” та спеціальностей: 8.05050312 „Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва”, 8.05050303 „Обладнання лісового комплексу” / Ю.О. Ромасевич, В.М. Рибалко, Н.В. Матухно – К.: 2015. – 75 с.

Наведено матеріал по вибору електродвигунів для різних сільськогосподарських машин і механізмів. Описані методи визначення потужності електроприводу: еквівалентного моменту, струму та потужності. Вказано причини, які впливають на енергетичні потоки у асинхронних електродвигунах. Викладено загальні характеристики при нагріванні та охолодженні електродвигунів. Теоретичний матеріал супроводжується прикладами розрахунків. Наведено каталожні дані для двигунів серій 4AM, АИР, та двигунів для кранових механізмів.

Вступ

Електропривод в сучасному розумінні являє собою систему, яка містить електродвигун, механічний передавальний механізм, пристрої керування, в тому числі автоматичного, пристрої сигналізації, пристрої захисту електродвигуна і системи керування та сигналізації, пристрої захисту робочої машини від аварійних режимів роботи.

Основою електроприводу є електричний двигун. Відповідність його конструктивних, механічних та енергетичних параметрів умовам роботи виробничого механізму забезпечує задану продуктивність, якість продукції, надійність і економічність.

При виборі електродвигуна для робочої машини доводиться вирішувати широке коло питань, а саме розраховувати його потужність, вибирати рід струму, напругу, кутову швидкість, конструктивне виконання електродвигуна. Для цього необхідно знати умови роботи електричних машин, які повинні бути сформульовані в завданні на проектування.

Кінематична схема і конструкція машинного пристрою в значній мірі визначаються типом використаного електроприводу, який, з одного боку, сам залежить від властивостей робочої машини, а з іншого – впливає на її конструктивні особливості. У зв'язку з цим проектування електроприводу виконується паралельно з проектуванням робочої машини в самій початковій стадії.

У виробничих умовах при експлуатації електроприводів необхідність вибору електродвигуна найчастіше виникає при модернізації обладнання, зміні технологічного процесу. Тут необхідно вирішувати значно менше завдань, ніж при проектуванні електроприводу, проте потрібні знання і навички щодо визначення оптимальних навантажень, пускових властивостей і перевантажувальних здатностей електродвигуна [1].

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АСИНХРОННІ ДВИГУНИ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ПОТУЖНОСТЕЙ І ПРИЄДНУВАЛЬНИХ РОЗМІРІВ

1.1. Теоретичні основи роботи асинхронного двигуна

Приведемо короткі відомості про асинхронний двигун, необхідні для розуміння його основних властивостей і характеристик.

Загальний вигляд асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором показаний на рис. 1.1. У пазах статора розміщена обмотка, що утворює фазні зони, зсунуті в просторі на 120 електричних градусів. При підключенні обмотки статора до трифазної мережі, напруги фаз якої зсунуті на 120°, виникає магнітне поле, що обертається у статорі з кутовою швидкістю:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p} \quad (1.1)$$

де ω_0 – швидкість ідеального холостого ходу асинхронного двигуна, рад/с; f_1 – частота мережі, Гц; p – число пар полюсів. Частота обертання поля статора у обертах за хвилину n_0 визначається за формулою:

$$n_0 = \frac{60 f_1}{p}. \quad (1.2)$$

Для стандартної частоти $f_1=50$ Гц вона залежить від конструкції машини й може становити 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/хв.

У пазах короткозамкненого ротора закладені металеві стержні (обмотка ротора). З'єднані по кінцях, вони утворюють „білячу клітку”. При обертанні ротора зі швидкістю поля $\omega = \omega_0$ (ідеальний холостий хід) у його стержнях не наводиться ЕРС, не протікає струм, не створюється електромагнітний момент. Прикладена до обмоток напруга U_1 , врівноважується ЕРС самоіндукції E_1 :

$$E_1 = 4,44\Phi w_1 f_1 k_{об}, \quad (1.3)$$

де Φ – магнітний потік асинхронного двигуна; w_1 – число витків фази; $k_{об}$ – конструктивний обмотувальний коефіцієнт.

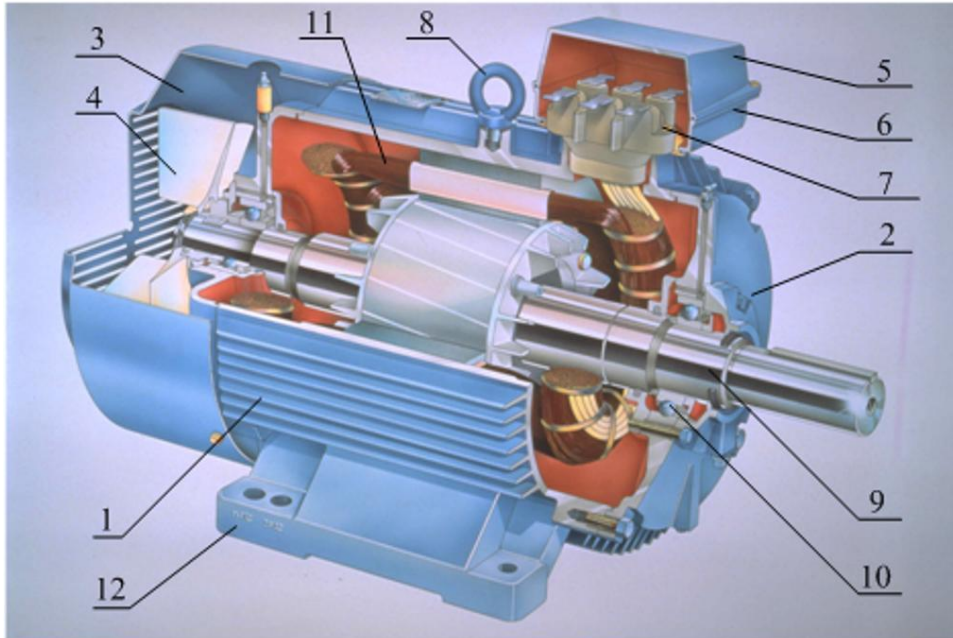


Рис. 1.1. Будова асинхронного двигуна

На рис. 1.1: 1 – статор; 2 – підшипниковий щит; 3 – кришка вентилятора; 4 – вентилятор; 5 – кришка; 6 – клемна коробка; 7 – клемна панель; 8 – рем-болт; 9 – ротор; 10 – підшипник; 11 – обмотка статора; 12 – лапи.

Струм в обмотці статора при швидкості ідеального холостого хода - струм намагнічування I_μ – витрачається на створення магнітного поля. Звичайно $I_\mu = (0,35 \dots 0,4) I_{ном}$.

Якщо на вал двигуна прикласти зовнішній момент навантаження M_c , то ротор починає відставати від обертового поля статора, тобто $\omega \neq \omega_0$ і у його стержнях наводиться ЕРС і протікає струм, що, взаємодіючи з магнітним полем, створює електромагнітний момент M , який врівноважує момент навантаження M_c .

Різниця швидкостей ω_0 і ω характеризується ковзанням s :

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = \frac{n_0 - n}{n_0}, \quad (1.4)$$

через яке можна визначити частоту струму в роторі f_2 :

$$f_2 = f_1 s. \quad (1.5)$$

Для аналізу процесів в асинхронному двигуні звичайно використовують схему заміщення, побудовану для однієї фази (рис. 1.3) [2]. Ця схема справедлива при таких припущеннях: параметри двигуна постійні; насичення магнітного ланцюга не впливає на реактивні опори обмоток статора X_1 й ротора X_2' ; струм намагнічування є постійним і не залежить від навантаження; вплив вищих гармонійних МРС не враховується.

Найпростіша схема заміщення з контуром намагнічування X_μ , винесеним на затискачі, показана на рис. 1.2. У цій схемі: R_1, R_2' – первинний (статорний) та вторинний (роторний) зведені активні опори; X_1, X_2' – первинний та вторинний зведені індуктивні опори розсіювання; X_μ – індуктивний опір контуру намагнічування; I_1, I_2', I_μ – відповідно струм статора, приведений струм ротора й струм намагнічування; U_1 – діюче значення фазної напруги мережі.

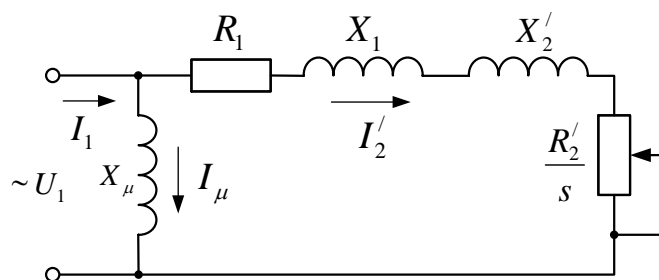


Рис. 1.2. Схема заміщення однієї фази асинхронного двигуна

Схема заміщення дозволяє на якісному рівні оцінити вид основних характеристик двигуна, тобто залежностей I_2' і M від ковзання s (рис. 1.3).

Відповідно до схеми заміщення асинхронного двигуна приведений струм ротора:

$$I_2' = \frac{U_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (1.6)$$

Вираз (1.6) є рівнянням електромеханічної характеристики (ЕМХ) асинхронного двигуна.

Відмітимо, що крива $I_1=f(s)$ практично повторює залежність $I_2'=f(s)$, тому що спрощена схема заміщення припускає сталість струму намагнічування I_μ при незмінній напрузі U_1 (рис. 1.3), отже:

$$I_1 = I_2' + I_\mu. \quad (1.7)$$

На рис. 1.3. штриховою лінією чорного кольору показана залежність струму статора від ковзання двигуна. Як видно з графіка ця характеристика знесена вправо на величину струму намагнічування I_μ , що відповідає рівнянню (1.7).

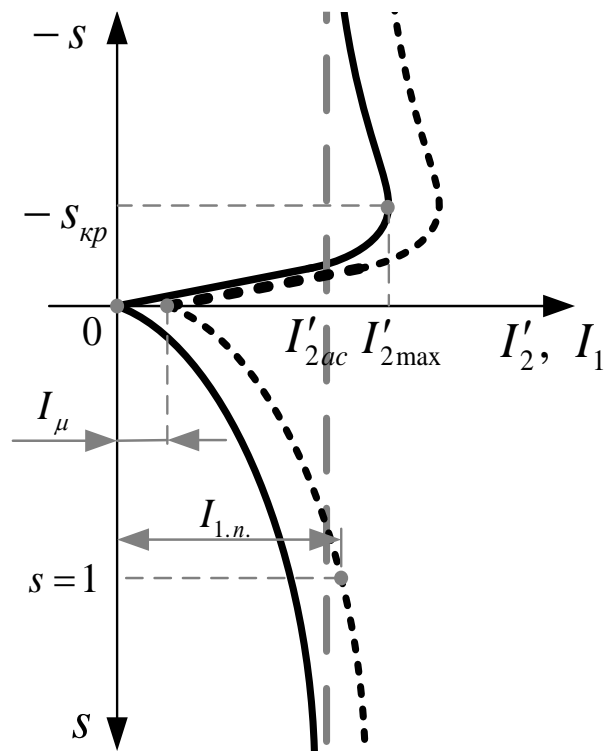


Рис. 1.4. ЕМХ асинхронного двигуна

Проаналізуємо характерні ділянки ЕМХ:

1. $\omega = \omega_0$, $s = 0$, $I'_2 = 0$, $I_1 = I_\mu$ – точка ідеального холостого ходу (струм ротора дорівнює нулю, струм статора найменший і дорівнює струму намагнічування);
2. $\omega = 0$, $s = 1$, $I'_2 = I'_{2.n.}$, $I_1 = I_{1.n.}$ – режим короткого замикання, де $I'_{2.n.} = I'_{2.к.з.}$, $I_{1.n.} = I_{1.к.з.}$ – відповідно пусковий струм ротора та статора (струм короткого замикання). Знайдемо пусковий струм статора асинхронного двигуна відповідно до виразів (1.6) та (1.7):

$$I_{1.n.} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}} + I_\mu. \quad (1.8)$$

Пусковий струм статора – це важлива каталожна величина для асинхронного двигуна. З виразу (1.9) видно, що пусковий струм статора можна зменшити, якщо у момент пуску до обмоток статора асинхронного двигуна прикладати знижену напругу живлення U_1 , або збільшити опір у колах статора R_1 чи ротора R'_2 ;

3. $\omega \rightarrow -\infty$, $s \rightarrow \infty$, $I'_2 \rightarrow I'_{2.ac}$, $I_1 = I_{1.ac}$ – режим гальмування противмиканням. Зі збільшенням ковзання крива ЕМХ ротора наближається до асимптоти (показана на рис. 1.3. вертикальною штриховою лінією сірого кольору):

$$I'_{2.ac} = \frac{U_1}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (1.9)$$

Вираз для $I_{1.ac}$ можемо отримати додаванням $I'_{2.ac}$ та струму намагнічування I_μ ;

4. $\omega \rightarrow \infty$, $s \rightarrow -\infty$, $I'_2 \rightarrow I'_{2.ac}$, $I_1 = I_{1.ac}$ – режим рекуперативного гальмування. Тут $I'_{2.ac}$ визначається за формулою (1.9);

5. $\omega = \omega_0(1 + R_1/R')$, $s = -R_1/R'_2$, $I'_2 \rightarrow I'_{2.\max}$, $I_1 = I_{1.\max}$ – максимальне значення струму ротора і відповідно статора при рекуперативному гальмуванні:

$$I'_{2.\max} = \frac{U_1}{X_1 + X'_2}. \quad (1.20)$$

Вираз (1.20) легко знайти, дослідивши функцію (1.6) на екстремум.

Рівняння механічної характеристики (МХ) може бути отримане на основі балансу потужностей в колі ротора. Для цього знайдемо втрати потужності у колі ротора, які визначаються за відомою формулою Джоуля-Ленца (для трьох фаз ротора):

$$\Delta P_2 = 3I_2'^2 R'_2. \quad (1.21)$$

Вираз для ΔP_2 можна знайти іншим способом. Втрати потужності у роторі визначаються різницею між електромагнітною потужністю P_1 (потужність, яка споживається з мережі) та корисною механічною потужністю P_2 (потужність на валу двигуна):

$$\Delta P_2 = P_1 - P_2 = M\omega_0 - M\omega = M\omega_0 s, \quad (1.22)$$

де M - момент на валу двигуна. З виразів (1.21) і (1.22) можемо записати [3]:

$$M = \frac{3I_2'^2 R'_2}{\omega_0 s} = \frac{3U_1^2 R'_2}{\omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (X_1 + X_2)^2 \right]}. \quad (1.23)$$

Варто відмітити квадратичну залежність моменту на валу асинхронного двигуна від величини напруги живлення. Оскільки електропостачання сільського господарства характеризується значною протяжністю ліній електропередач та невеликою потужністю силових трансформаторів то напруга

живлення асинхронного двигуна може змінюватись значно, що впливає на момент, який розвивається двигуном. Якщо двигун вибраний неправильно, то падіння напруги живлення може призвести до зупинки двигуна, який працює під навантаженням.

З виразу (1.23) видно, що момент асинхронного двигуна є складною функцією ковзання й має два максимуми при додатному та від'ємному ковзанні. Для знаходження максимуму моменту необхідно взяти похідну по s з (1.23), прирівняти її нулю й розв'язати отримане квадратне рівняння (пропонуємо студентам самим виконати вказані розрахунки). Ковзання, при якому момент двигуна досягає максимального значення, називається критичним і для природної МХ дорівнює:

$$s_{kp} = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}}. \quad (1.24)$$

Знак „+” ставиться для приводного режиму, а знак „-” для режиму рекуперативного гальмування (генераторний режим з віддачею енергії в мережу). Для штучної (реостатної) МХ до чисельника дробу (1.24) необхідно додавати величину додаткового опору $R'_{2\partial}$, який включений у коло ротора.

Підставивши в рівняння (1.23) значення s_{kp} з (1.24), одержимо вираз для максимального (критичного) моменту:

$$M_{max} = \frac{3U_1^2}{2\omega_0 \left(R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right)}. \quad (1.25)$$

З наведеного виразу видно, що максимальний момент не залежить від додаткового опору, включеного в роторне коло. Зі зміною додаткового опору змінюється лише критичне ковзання, при якому на валу двигуна виникає максимальний (критичний) момент.

На рис. 1.4. суцільною лінією показана МХ асинхронного двигуна (залежність моменту на валу двигуна від його швидкості або ковзання), штрихова лінія показує провал моменту при ковзанні $s \approx 0,85$ (це мінімальний

момент асинхронного двигуна). Виникнення провалу функції моменту на графіку MX є наслідком впливу моментів створюваних вищими непарними гармоніками в магнітному полі обмоток.

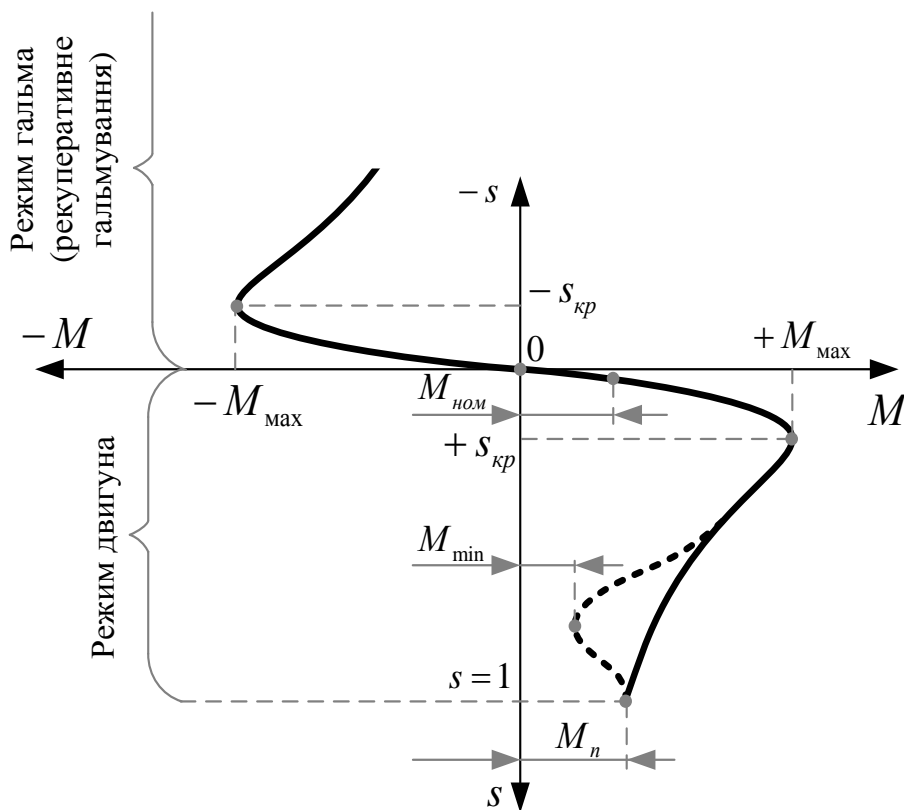


Рис. 1.4. MX асинхронного двигуна

Підставивши у вираз (1.23) $s=1$ (момент пуску двигуна) можемо отримати формулу для пускового моменту:

$$M_n = \frac{3U_1^2 R'_2}{\omega_0 [(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X_2)^2]} \quad (1.26)$$

Відмітимо, що пусковий момент двигуна залежить (у квадраті) від величини прикладеної напруги та від опору роторного кола. При значенні опору роторного кола $R'_2 = \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2}$ пусковий момент двигуна стає максимальним. Отже, підбором величини опору додаткового реостату включеного у коло ротора можна добитись пуску двигуна при максимальному моменті.

МХ асинхронного двигуна можна описати наближеною формулою:

$$M = \frac{2M_{\max}(1 + s_{кр})}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s} + 2s_{кр}}, \quad (1.27)$$

яка має назву рівняння Клосса. Для потужних двигунів можна скористатись спрощеним рівнянням Клосса, отриманим при допущенні, що $R_1 \approx 0$ (дійсно двигуни з $P_{ном} > 5 \text{ кВт}$ мають дуже малий активний опір статорних обмоток):

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}. \quad (1.28)$$

МХ та ЕМХ асинхронного двигуна також можна побудувати по паспортним (каталожним) даним двигуна. В каталогах на асинхронні двигуни звичайно наводять такі показники:

$U_{1номY} / U_{1ном\Delta}$ – номінальні напруги при з'єднанні обмоток по схемі „зірка” і „трикутник”, В;

$I_{1номY} / I_{1ном\Delta}$ – відповідні схемам з'єднань обмоток номінальні струми, А;

$f_{1ном}$ – номінальна частота мережі, Гц;

$P_{ном}$ – номінальна потужність на валу, кВт;

$n_{ном}$ – номінальна частота обертання, об/хв;

$\eta_{ном}$ – номінальний ККД;

$\cos\varphi_{ном}$ – номінальний коефіцієнт потужності;

$I_{1пуск} / I_{1ном}$ – кратність пускового струму;

$M_{пуск} / M_{ном}$ – кратність пускового моменту;

$M_{\max} / M_{ном}$ – кратність максимального моменту;

$M_{\min} / M_{ном}$ – кратність мінімального моменту;

$J_{дв}$ – момент інерції двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$.

Деякі фірми, які виготовляють асинхронні двигуни, наводять типові природні характеристики $n(M)$ і $n(I_1)$, а також $\eta(P_2)$ і $\cos\varphi(P_2)$.

Наведене вище відноситься до усталених режимів руху двигуна. Перехідні процеси: пуск, гальмування, зміна швидкості, збільшення та зменшення навантаження підкоряються загальному рівнянню руху електропривода:

$$M - M_c = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (1.12)$$

де M – момент, який розвивається двигуном; M_c – момент створюваний навантаженням; J_{Σ} – сумарний момент інерції системи „двигун – механічна передача – робоча машина”.

1.2. Основні технічні характеристики асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором

1.2.1. Асинхронні двигуни серії 4АМ

Асинхронні трифазні двигуни серії 4АМ загального призначення виготовляють з висотами осі обертання від 50 до 250 мм. Порівняно з двигунами серії 4А вони мають менший на 5дБ рівень шуму, більший пусковий момент, в деяких типорозмірах поліпшені енергетичні характеристики. Шкала потужностей двигунів серії 4АМ відповідає шкалі потужностей двигунів серії 4А, їх установочно-приєднувальні розміри також збігаються (Додаток А).

Для виготовлення двигунів серії 4АМ застосовують електротехнічну сталь з меншими питомими втратами і більшою магнітною проникністю, нові стійкі проти дії теплоти та високоміцні ізоляційні матеріали, більш досконалу технологію, а також удосконалену систему вентиляції. Вони мають ступінь захисту IP44. У двигунах цієї серії є такі відмінності:

- 1) станина із поздовжніми горизонтально-вертикальними ребрами для двигунів з висотою осі обертання 132, 160 і частково 100 мм;

- 2) проміжні станини меншої довжини порівняно із станинами двигунів серії 4А для шести- і восьмиполюсних двигунів з висотою осі обертання 200 - 250 мм;
- 3) застосовуються закриті підшипники типу 180000 з двостороннім ущільненням і закладеним на весь строк служби мастилом для двигунів з висотою осі обертання 160 та 180 мм;
- 4) спрощена конструкція підшипникових вузлів з пристроями для поповнення мастила;
- 5) збільшення кількості лопатей вентиляторів чотири-, шести- і восьмиполюсних двигунів з висотою осі обертання 160-250 мм до дев'яти та зменшення для них діаметра кожухів вентиляторів.

Інші характеристики двигунів серії 4АМ і 4А збігаються. Умовні позначення двигунів серії 4АМ розшифровуються так:

<u>4АМ</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>XXX</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>XX</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

- 1 – серія;
- 2 – виконання за способом захисту від дії навколишнього середовища: Н - захищені; відсутність даного знаку означає закриті обдувні;
- 3 – виконання за матеріалом станини та щитів: А – станина та щити алюмінієві; Х – станина із алюмінію, підшипникові щити - чавунні; відсутність знаків означає, що станина і щити чавунні або сталеві;
- 4 – позначення електричної модифікації: С – з підвищеним ковзанням; Р – з підвищеним пусковим моментом; К – з фазним ротором; В – вбудовані;
- 5 – висота осі обертання, мм (дві або три цифри);
- 6 – установочний розмір за довжиною станини (S – коротка, М – середня, L – довга);
- 7 – довжина осердя статора (А або В) при збереженні установочного розміру. Відсутність літер вказує на наявність тільки однієї довжини осердя;
- 8 – кількість полюсів (2, 4, 6, 8 і 10);

- 9 – додатковий індекс – позначення спеціалізованого виконання двигуна: X2 – стійкі проти дії хімічних речовин; С – сільськогосподарські; УП – пилозахищені; РЗ – для зубчастих мотор-редукторів; Ж – з подовженим кінцем вала для моноблочних насосів; Б – з вбудованим температурним захистом; Е – з вбудованим електромеханічним гальмом; Н – малошумні;
- 10 – кліматичне виконання і категорія розміщення.

Поряд з двигунами загального призначення основного виконання в серії 4АМ передбачені модифікації та спеціалізовані виконання, які наведені у Додатку Б. Електродвигуни серії 4АМ загального призначення з висотами осі обертання 50 - 132 мм і 160 - 250 мм мають ізоляцію класу нагрівостійкості відповідно В і F. Виконання двигунів серії 4АМ за способом монтажу наведено у Додатку В. Двигуни надійно працюють при умовах: висота над рівнем моря не більше 1000 м; температура навколишнього середовища $-40 - +40^{\circ}\text{C}$; відносна вологість повітря при температурі $+25^{\circ}\text{C}$ до 93 %; запиленість повітря не більше 10 мг/м^3 для двигунів із ступенем захисту IP44 і не більше 2 мг/м^3 – IP23; навколишнє середовище вибухобезпечне, не повинно містити струмопровідного пилу, агресивних газів у концентраціях, що руйнують метал та ізоляцію. Допускається робота при коливаннях напруги у живильній мережі в межах $-5 - +10\%$ і частоти змінного струму $\pm 2,5\%$ від номінальних значень [4]. Технічні характеристики двигунів серії 4АМ наведені у Додатку Г.

1.2.2. Асинхронні двигуни серії АИ

Електродвигуни серії АИ розроблені в рамках міжнародної організації по співробітництву у галузі електротехнічної промисловості „Інтерелектро” і відповідають перспективному рівню світового електромашинобудування.

Порівняно з двигунами серії 4А та 4АМ вони мають кращі енергетичні показники: менші рівень шуму та масу; підвищену надійність і ступінь захисту (для двигунів з висотами осі обертання 45-132 мм основного виконання – IP54, інших – IP44). Двигуни серії АИ виготовляються з чавунними станиною та

підшипниковими щитами і станиною з алюмінієвого сплаву й чавунними або алюмінієвими щитами. Для досягнення підвищеної точності і зниження шуму використовують серію підшипників із зниженою віброактивністю. Підшипники мають дві ущільнювальні шайби і закладене на весь строк служби підшипника мастило. Вертикально-горизонтальне оребріння поверхні станини забезпечує інтенсивніше охолодження оболонки двигуна. Коробку струмовводу відливають разом із станиною, що забезпечує надійну герметизацію і дозволяє підвести живлення з кожного боку двигуна через один або два герметизованих штуцери.

Клас нагрівостійкості ізоляції – F. Для підвищення надійності двигунів з висотами осі обертання 45-132 мм перегрівання обмоток встановлено по класу В. Умовні позначення електродвигунів серії АИ розшифровуються так:

<u>А</u>	<u>И</u>	<u>Р</u>	<u>XXX</u>	<u>XX</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>XX</u>
1	2	3	4	5	6	7	8

- 1 – асинхронний;
- 2 – уніфікована серія („Интерэлектро”);
- 3 – ув’язка потужності з установочними розмірами (потужності двигунів серії АИР збігаються з потужностями двигунів серій 4А та 4АМ);
- 4 – висота осі обертання, мм;
- 5 – А і В – довжина осердя магнітопроводу при однаковій довжині станини (S, M, L – позначення довжини станини);
- 6 – кількість полюсів (2, 4, 6 і 8);
- 7 – додаткові індекси: Б – з вбудованим температурним захистом, Х2 – стійкий проти дій хімічних речовин, Н – малошумний, С – сільськогосподарський тощо;
- 8 – кліматичне виконання та категорія розміщення.

На замовлення двигуни виготовляють на всі стандартні напруги до 660 В при з’єднанні обмоток за схемою трикутника чи зірки або за іншими схемами і на всі монтажні (ГОСТ 2479-79) та кліматичні (ГОСТ 15150-69) виконання. Двигуни призначені для тривалого режиму роботи S1 за ГОСТ 183-74. Вони

можуть бути виготовлені і на інші режими (S2 і S3). За установочними та приєднувальними розмірами і шкалою потужностей вони повністю взаємозамінні з двигунами серій 4А й 4АМ. Структури умовних позначень двигунів серій АИ та 4А і 4АМ збігаються. Умови роботи двигунів серії АИ такі ж, як і для двигунів серії 4АМ відповідних модифікацій та виконань за захищеністю від впливу навколишнього середовища. Технічні характеристики двигунів серії АИР наведені у Додатку Д. У таблиці 1.1 наведені основні каталожні дані АД серій АИ та 4А [4].

Таблиця 1.1.

Характеристики електродвигунів серій 4А та АИ

Серія	Параметр			
	Кратність мінімального моменту $M_{\min}^* = \frac{M_{\min}}{M_{\text{ном}}}$	Кратність пускового моменту $M_n^* = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}}$	Кратність максимального моменту $M_{\max}^* = \frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$	Кратність пускового струму $I_n^* = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}}$
4А	1,0...1,6	1,3...2,1	1,7...2,8	3,5...7,5
АИ	0,9...1,8	1,1...2,1	1,7...3,0	3,5...7,5

1.2.3. Асинхронні двигуни кранових серій

Кранові електродвигуни серії МТФ з фазним ротором і серії МТКФ з короткозамкненим ротором призначені для приводу кранових та інших механізмів загального призначення, робота яких характеризується короткочасним і повторно-короткочасним режимами і великими кратностями перевантажень. Температура навколишнього середовища від -45 до + 40 °С і відносній вологості не більше 80 % при 25 °С.

Електродвигуни серій МТКФ і МТКН одно- і двошвидкісні, підвищеного ковзання розраховані на прямий пуск від мережі повної напруги.

Електродвигуни серій МТФ , МТКФ , МТН і МТКН характеризуються підвищеною перевантажувальною здатністю, великими пусковими моментами при порівняно невеликих пускових струмах, а також малим часом розгону.

Монтажні виконання: (ІМ1001, ІМ1002) – горизонтальні, з одним і двома циліндричними кінцями вала; (ІМ2001) – горизонтально-фланцеві з одним циліндровим кінцем валу; (ІМ2011, ІМ2012) – вертикально-фланцеві з одним і двома циліндровими кінцями валу; (ІМ1003, ІМ1004) – горизонтальні, з одним і двома конічними кінцями валу; (ІМ2003, ІМ2004) – горизонтально-фланцеві, з одним і двома конічними кінцями валу; (ІМ2013, ІМ2014) – вертикально-фланцеві з одним і двома конічними кінцями валу. Клас нагрівостійкості ізоляції – F і H. Види кліматичного виконання - У, УХЛ , ХЛ , Т , О. Категорія розміщення - 1, 2, 3. Технічні характеристики кранових двигунів серій МТФ, МТН, МТКН, АМТФ, 4МТМ, 4МТКМ наведені у Додатку Е.

1.3. Діапазони напруг, потужностей і частот обертання

По номінальній напрузі розрізняють асинхронні електродвигуни низької (низьковольтні) і високої (високовольтні) напруги. Асинхронні низьковольтні електродвигуни призначені для підключення до живильної мережі з номінальною напругою 220, 380, 660 В, електродвигуни високовольтні – до мережі з номінальною напругою 6000 або 10 000 В.

Асинхронні електродвигуни загального призначення низької напруги потужністю від 15 кВт і вище виготовляються із шістьма вивідними кінцями обмотки статора. Схема з'єднання обмотки – „трикутник-зірка”. Електродвигуни потужністю до 11 кВт виготовляються із трьома вивідними кінцями. У результаті багаторічної практики застосування асинхронних електродвигунів у різних галузях народного господарства, а також з урахуванням сучасних тенденцій технічного розвитку, встановлені певні діапазони потужностей при наступних напругах (табл. 1.2).

Відповідність номінальних напруг та потужностей двигунів

Номінальна напруга живлення, В	220; 380	220; 380; 660	220/380; 380/660	380/660
Номінальна потужність, кВт	0,06-0,380	0,55-11	15-110	132-400

Для серійних електродвигунів з висотами осі обертання до 355 мм встановлені синхронні частоти обертання 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 об/хв при частоті напруги живлення 50 Гц [1].

1.4. Виконання електродвигунів за ступенем захисту

Під захистом електричних машини розуміється захист обслуговуючого персоналу від дотикання до струмоведучих або обертових частин й захист машин від потрапляння в середину твердих сторонніх тіл і води.

Виконання електричних машин за ступенем захисту встановлено держстандартом. Позначення виконань складається з латинських букв IP (International Protection) і двох цифр, перша з яких характеризує ступінь захисту персоналу від дотику до струмоведучих або обертових частин, що знаходяться усередині машини, а також ступінь захисту самої машини від потрапляння в неї твердих сторонніх тел. Друга цифра характеризує ступінь захисту від проникнення води. Розшифрування позначень IP наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3.

Розшифровка позначення захисту виробу від впливу навколишнього середовища

Перша цифра	Ступінь захисту	Друга цифра	Ступінь захисту
1	2	3	4
0	Захист відсутній	0	Захист відсутній
1	Захист від твердих тіл розміром більше 50 мм	1	Захист від крапель води

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
2	Захист від твердих тіл розміром більше 12 мм	2	Захист від крапель води при ухилі до 15 ⁰
3	Захист від твердих тіл розміром більше 2,5 мм	3	Захист від дощу
4	Захист від твердих тіл розміром більше 1 мм	4	Захист від бризок
5	Захист від пилу	5	Захист від водяних струменів
6	Пилонепроникність	6	Захист від хвиль
		7	Захист при зануренні у воду
		8	Захист при тривалому зануренні у воду

Багаторічна практика розробки, випуску й експлуатації електродвигунів єдиних серій загального застосування показала, що для такого роду машин цілком достатньо застосування двох ступенів захисту: IP23 та IP44. Перша з них характеризує машини в так званім захищеному виконанні, друга – з закритим

Кожух зовнішнього вентилятора повинен забезпечувати ступінь захисту не менш IP20 на вході повітря, при наявності ротора, що продувається, ступінь захисту отвору для проходу через ротор винна бути не меншою за IP23.

Асинхронні двигуни з висотами осі обертання до 132 мм виконуються зі ступенем захисту IP44; з висотами осі обертання понад 132 мм – зі ступенем захисту IP23 і IP44. Електродвигуни з висотами осі обертання понад 355 мм можуть мати виконання за ступем захисту IP23 [1].

1.5. Елементи конструкцій електродвигунів

Незалежно від типу електродвигуна (з короткозамкнутий або фазною обмоткою ротора) сердечники статора й ротора виконують із листів електротехнічної сталі товщиною 0,5 мм (для машин невеликої потужності в ряді випадків товщиною 0,65 мм). Листи ізолюють один від одного

оксидуванням (для електродвигунів з висотами осі обертання до 250 мм), лакуванням (для електродвигунів з більшими висотами осі обертання) або використовують сталь із електроізоляційним покриттям.

Для виготовлення осердя статора й ротора найбільш прогресивним є застосування холоднокатаної ізотропної електротехнічної сталі.

Для розміщення обмоток листи осердя статора штамнують із напівзакритими, напіввідкритими й відкритими пазами. При напівзакритих пазах обмотку виконують всипною із провідників круглого поперечного перерізу, при напіввідкритих і відкритих пазах – із провідників прямокутного поперечного перерізу, у результаті чого підвищується коефіцієнт заповнення пазів міддю.

Найпростішим видом короткозамкненої обмотки ротора є обмотка у формі білячої клітки. Короткозамкнуті ротори електродвигунів загального застосування виконують із овальними напівзакритими або закритими, пляшко подібними закритими й прямокутними закритими пазами. Різноманітність конструктивних форм пазів пов'язана з величиною номінальної напруги, висотою осі обертання й числом полюсів електродвигунів.

Обмотка роторів при висоті осі обертання менше 355 мм – лита алюмінієва; разом зі стрижнями відливають короткозамкнуті кільця й вентиляційні лопатки. Обмотку роторів більше 400 мм виконують із прямокутних шин, які укладають у відкриті пази ротора й приварюють до алюмінієвих короткозамкнених кілець.

Короткозамкнені ротори електродвигунів з підвищеним пусковим моментом виконують із подвійною білячою кліткою, а також глибокопазними. В електродвигунах з підвищеним ковзанням короткозамкнена обмотка ротора виконується заливанням спеціальним алюмінієвим сплавом.

В електродвигунах з фазним ротором листи сердечника ротора штамнують із напівзакритими пазами. У пази укладається звичайно трифазна обмотка, яка з'єднується за схемою зірки або трикутника й виводиться до трьох контактних кілець, які розташовані на валу електродвигуна. Контактні кільця з

насадженими на них щітками слугують для підключення пускорегулювального реостата.

Відповідальним конструктивним елементом асинхронних електродвигунів є зазор між статором і ротором. Величина зазору впливає на енергетичні й віброакустичні показники, використання активних матеріалів і надійність електродвигунів. При зменшенні зазору знижується реактивна складова струму холостого ходу й, отже, підвищується коефіцієнт потужності електродвигуна; разом з тим збільшується магнітне розсіювання, а отже, індуктивний опір електродвигуна; збільшуються додаткові втрати, зменшується фактичний ККД електродвигуна й збільшується нагрівання обмоток; збільшується рівень шуму й вібрації, зростає навантаження на вал і підшипники від електромагнітних сил; виникає небезпека торкання ротора об статор і тим самим знижується надійність електродвигуна. В асинхронних електродвигунах величина повітряного зазору коливається й межах від 0,2 до 2 мм.

Осердя ротора насаджується безпосередньо на вал електродвигуна. У осерді роторів з висотами осі обертання до 250 мм виконується один ряд аксіальних круглих вентиляційних каналів для поліпшення охолодження електродвигунів, зниження їх маси, зменшення моменту інерції.

За способом вентиляції машини діляться на наступні основні типи: із самовентиляцією, із зовнішньою самовентиляцією, з незалежним охолодженням.

Машини із самовентиляцією охолоджуються за допомогою вентилятора, який становить одне ціле з обертовою частиною машини. Вентилятор всмоктує ззовні холодне повітря й проганяє його через машину. Залежно від того, у якому напрямку рухається по машині охолодне повітря, розрізняють радіальну й аксіальну (осьову) вентиляційні схеми.

Машини із зовнішньою самовентиляцією охолоджуються за допомогою вентилятора, винесеного за підшипниковий щит. Щоб прискорити передачу тепла від внутрішніх частин машини до її зовнішньої поверхні, повітря усередині машини циркулює за допомогою роботи внутрішніх вентиляторів.

У машинах з незалежним охолодженням повітря надходить за допомогою незалежного вентилятора.

Корпуси асинхронних електродвигунів виготовляються з алюмінієвих сплавів, чавуну або звареними зі сталевого прокату й листової сталі.

Для підключення асинхронного електродвигуна до електричної мережі служить клемна коробка. Низьковольтні електродвигуни загального призначення з висотою осі обертання до 250 мм звичайно мають клемну коробку з одним штуцером, а електродвигуни з висотою осі обертання більше 280 мм мають клемну коробку з двома штуцерами. Штуцери призначені для приєднання гнучкого металевого рукава й кабелів з мідними або алюмінієвими жилами в оболонці з гуми або пластику [1].

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

2.1. Загальні положення

Правильний вибір потужності електродвигуна має велике значення. Недостатня потужність може призвести до порушення нормальної роботи механізму, зниження його продуктивності, надмірного підвищення температури окремих частин і обмоток електродвигуна, що в кінцевому випадку веде до виходу його з ладу. Використання електродвигуна завищеної потужності веде до невиправданого збільшення капітальних витрат, зниженню електричних показників, зменшенню ККД, а в установках змінного струму, крім того, погіршення коефіцієнта потужності, що, в свою чергу, впливає на непродуктивне завантаження перетворювальних пристроїв та електричних мереж. Потужність електродвигуна повинна задовольняти умовам допустимого нагріву, перевантажувальної здатності і пусковим умовам.

При виборі електродвигуна по нагріванню виходять з того, що температура окремих його частин під час роботи не повинна перевищувати гранично допустимих величин. Велике значення при цьому має ізоляція обмоток, яка практично визначає термін служби машини. Гранично допустима температура ізоляційних матеріалів визначається класом нагрівостійкості. Згідно державного стандарту, ізоляційні матеріали, які використовуються у електромашинобудуванні, діляться на певні класи нагрівостійкості (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Класи нагрівостійкості ізоляції

Клас ізоляції	A	E	B	F	H
Гранично допустима температура, °C	105	120	130	155	180

Номінальна потужність електродвигуна, вказана на його щитку, відповідає температурі навколишнього середовища + 40 °C. При більш низькій

температурі електродвигун може бути навантажений вище номінальної потужності, а при вищій температурі навантаження електродвигуна необхідно зменшувати, якщо не застосовуються додаткові заходи для його охолодження. Точний розрахунок величини зміни потужності при відхиленні температури навколишнього середовища від стандартної може бути зроблений лише електромашинобудівним заводом.

У механічній частині машини найбільшу дію перегріву зазнають підшипники. Тому при переході на більш форсовану роботу електродвигуна (при пониженій температурі навколишнього середовища) необхідно спостерігати за температурою підшипників. Гранично допустима температура підшипників ковзання електричних машин не повинна перевищувати 80 °С (температура масла при цьому повинна бути не більше 65 °С), а підшипників кочення 100 °С. При визначенні потужності електродвигуна необхідно враховувати не тільки сталий режим роботи, коли його швидкість і навантаження практично постійні, а й перехідні режими (періоди пуску, гальмування, навантаження і розвантаження). Розрахунок потужності з урахуванням перехідних режимів вимагає попередньої побудови навантажувальних діаграм, під якими розуміють залежності струму, моменту, потужності від часу. В цих випадках крім розрахунку по нагріванню електродвигун повинен бути перевірений за перевантаженням і за пусковими умовами. Для кожного електродвигуна існує граничне значення моменту, допустимого за умовами його нормальної роботи. Відношення цього моменту до номінального називається перевантажувальною здатністю електродвигуна. Для асинхронних і синхронних електродвигунів величина перевантажувальної здатності вказується в каталогах. Для електродвигунів постійного струму допустиме перевантаження обмежується також умовами комутації. При струмі якоря вище номінального, на колекторі виникає сильне іскріння і з'являється небезпека кругового вогню, внаслідок чого машина виходить з ладу.

При пуску електродвигунів під навантаженням необхідна їх перевірка за пусковими умовами. Для асинхронних короткозамкнутих електродвигунів в

каталогах наводяться величини кратності початкового пускового моменту і кратності мінімального моменту, за якими визначаються пускові властивості двигунів. Асинхронні електродвигуни з фазним ротором пускаються в хід за допомогою пускового реостата. Наявність у ньому пускових резисторів забезпечує плавність пуску і дозволяє отримати пусковий момент, рівний максимальному. Тому для цих електродвигунів в каталозі не наводиться значення кратності пускового моменту [1].

2.2. Втрати активної потужності в електродвигуні

Нагрівання електродвигуна відбувається за рахунок втрат активної потужності, що виникають при перетворенні електричної енергії в механічну. Ці втрати поділяються на постійні, які не залежать від навантаження, і змінні, залежні від навантаження. Постійні втрати відносяться до втрат холостого ходу. Вони включають втрати в сталі (від гістерезису і вихрових струмів), механічні (на тертя в підшипниках, контактних кілець по щіткам, щіток по колектору в машинах постійного струму) і на вентиляцію.

Змінні або навантажувальні втрати пропорційні квадрату струму, що протікає по основним обмоткам (якоря – у електродвигунів постійного струму, ротора і статора – у асинхронних електродвигунів і статора – у синхронних електродвигунів). Розглянемо втрати потужності для найбільш складного випадку на прикладі енергетичної діаграми асинхронного трифазного електродвигуна (рис. 2.1).

Підведена до статора електродвигуна активна потужність:

$$P_1 = 3U_1 I_{1\phi} \cos \varphi, \quad (2.1)$$

де $I_{1\phi}$ – струм у фазі статора, А; $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності електродвигуна. Частина цієї потужності витрачається на втрати від гістерезису і вихрових струмів в сталі електродвигуна $\Delta p_{c.c}$ і на втрати в обмотці статора $\Delta p_{o.c}$.

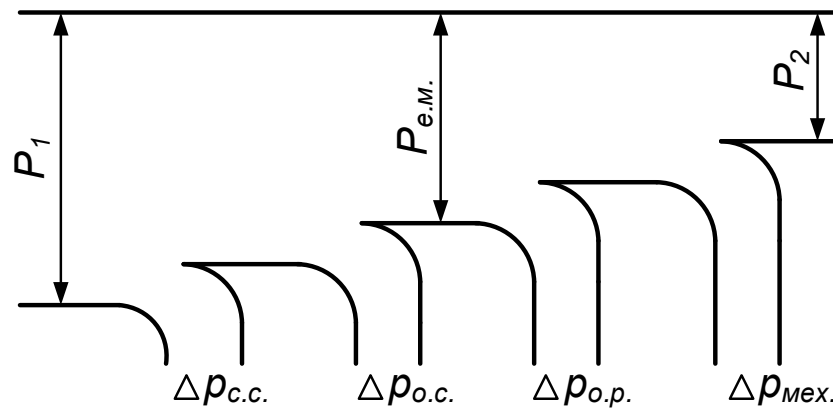


Рис. 2.1. Енергетична діаграма асинхронного електродвигуна

Навантажувальні втрати (втрати в обмотках статора) можна визначити з виразу:

$$\Delta p_{o.c.} = 3I_{1\phi}^2 R_1. \quad (2.2)$$

Потужність, яка передається на ротор за допомогою основного магнітного потоку, називається електромагнітною. Вона визначається за формулою:

$$P_{e.m.} = P_1 - (\Delta p_{c.c.} + \Delta p_{o.c.}). \quad (2.3)$$

Частина цієї потужності витрачається на втрати в обмотці ротора, які можна визначити за формулою:

$$\Delta p_{o.p.} = 3I_2'^2 R_2'. \quad (2.4)$$

Інша частина потужності перетворюється в повну механічну потужність, яка приводить в рух ротор електродвигуна, в результаті чого створюються механічні втрати $\Delta p_{мех.}$. Залишок потужності, отриманий як різниця між повною механічною потужністю і механічними втратами, надходить на вал

електродвигуна і називається корисною потужністю P_2 . Між підведеною P_1 і корисною P_2 потужністю існує певна залежність:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = k_{нав} \frac{P_{ном}}{\eta}, \quad (2.5)$$

де $k_{нав}$ – коефіцієнт навантаження електродвигуна ($k_{нав} = \frac{P_2}{P_{ном}}$); $P_{ном}$ – номінальна потужність на валу електродвигуна. З енергетичної діаграми асинхронного електродвигуна випливає, що повні втрати мають такі складові:

$$\Delta p = P_1 - P_2 = \Delta p_{c.c} + \Delta p_{o.c} + \Delta p_{o.p.} + \Delta p_{мех}. \quad (2.6)$$

Втрати $\Delta p_{c.c} + \Delta p_{мех.}$ відносяться до втрат холостого ходу $\Delta p_{x.x.}$, а втрати $\Delta p_{o.c} + \Delta p_{o.p.}$ – до навантажувальних $\Delta p_{нав.}$. Навантажувальні втрати пропорційні квадрату коефіцієнта навантаження $k_{нав.}$. З урахуванням цього рівняння (2.6) можна записати в наступному вигляді:

$$\Delta p = \Delta p_{x.x.} + \Delta p_{нав.} = \Delta p_{x.x.} + k_{нав}^2 \Delta p_{ном}. \quad (2.7)$$

де $\Delta p_{ном}$ – втрати при номінальному навантаженні двигуна.

При розрахунку потужності електродвигуна, а також при вирішенні завдань щодо раціонального використання асинхронних електродвигунів, необхідно визначити втрати для кожного електродвигуна. Найпростіше це зробити, якщо відомі потужність на валу і ККД електродвигуна. У режимі номінального навантаження ці дані наводяться на паспортному щитку. Тоді повні номінальні втрати можна визначити за формулою:

$$\Delta p_{ном} = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} - P_{ном} = P_{ном} \left(\frac{1 - \eta_{ном}}{\eta_{ном}} \right). \quad (2.8)$$

При частковому навантаженні повні втрати будуть рівні:

$$\Delta p = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{k_{нав} P_{ном}}{\eta} - k_{нав} P_{ном} = k_{нав} P_{ном} \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right). \quad (2.9)$$

Для визначення Δp за формулою (2.9) необхідно по кожному електродвигуну мати криву залежності ККД у функції навантаження $\eta(P_2)$. Подібні криві можуть бути побудовані за даними, які наводяться в каталогах і довідниковій літературі. При розділенні повних втрат на постійні $\Delta p_{x.x.}$ і змінні $\Delta p_{нав}$ основна складність полягає у визначенні втрат холостого ходу $\Delta p_{x.x.}$. Маючи каталожні дані, втрати холостого ходу можна визначити за формулою:

$$\Delta p_{x.x.} = \frac{\Delta p - k_{нав}^2 \Delta p_{ном.}}{1 - k_{нав}^2}. \quad (2.10)$$

Приклад. Визначити втрати холостого ходу і навантажувальні втрати для асинхронного короткозамкнутого двигуна 4А160М8У3 ($P_n=11$ кВт; ($U_n=380$ В; $I_n=25,6$ А; $n_n=730$ об/хв; $\eta_n=87$ %; $\cos\varphi_n = 0,75$). Значення ККД двигуна при часткових навантаженнях:

$k_{нав}$	25	50	75	100	125
$\eta, \%$	81	87	88	87	85

Повні втрати активної потужності при номінальному навантаженні згідно формули (2.8) рівні:

$$\Delta p_{ном} = 11000 \left(\frac{1-0,87}{0,87} \right) = 1643 \text{ Вт}.$$

Прийmemo $k_{нав}=75$ % і знаходимо повні втрати за формулою (2.9):

$$\Delta p = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{k_{нав} P_{ном}}{\eta} - k_{нав} P_{ном} = 0,75 \cdot 11000 \left(\frac{1-0,88}{0,88} \right) = 1125 \text{ Вт}.$$

Звідси втрати холостого ходу згідно виразу (2.10) складають:

$$\Delta p_{x.x.} = \frac{1125 - 0,75^2 \cdot 1643}{1 - 0,75^2} = 459 \text{ Вт.}$$

Відповідно номінальні навантажувальні втрати [1]:

$$\Delta p_{\text{нав.ном.}} = \Delta p_{\text{ном.}} - \Delta p_{x.x.} = 1643 - 459 = 1184 \text{ Вт.}$$

2.3. Нагрівання та охолодження електродвигуна

Як вже зазначалося, нагрівання електродвигуна обумовлено втратами енергії, що виникають в процесі перетворення електричної енергії в механічну. У момент вмикання електродвигуна він має температуру навколишнього середовища (або, як прийнято говорити, знаходиться в холодному стані), і тому все тепло, що виділяється в ньому при протіканні струму, йде на нагрівання його частин. Коли температура електродвигуна перевищить температуру навколишнього середовища, почнеться процес віддачі тепла. При незмінному навантаженні через певний проміжок часу температура електродвигуна досягне сталого значення і все тепло, яке виділяється у двигуні, буде розсіюватися в навколишнє середовище. Настане теплова рівновага, і подальше зростання температури електродвигуна припиниться. Сталому тепловому режиму буде відповідати певна величина перегріву. При номінальному навантаженні і температурі навколишнього середовища + 40 °С величина перегріву не повинна перевищувати граничного значення, встановленого стандартом для даного класу нагрівостійкості ізоляційних матеріалів. Це положення береться в основу розрахунку потужності електродвигуна і вибору його по нагріванню.

Нагрівання електродвигуна пов'язано зі зміною його температури в часі. Ці зміни описуються за допомогою рівняння теплового балансу електродвигуна:

$$\Delta p dt = C d\tau + A \tau dt, \quad (2.11)$$

де Δp – втрати активної потужності при даному навантаженні електродвигуна, Вт; C - теплоємність, тобто кількість тепла, необхідного для підвищення температури електродвигуна на 1 градус, Дж/град; A – тепловіддача, тобто кількість тепла, що віддається електродвигуном в навколишнє середовище протягом 1 с при різниці температур в 1 градус, Дж/с·град; τ – перегрів, тобто перевищення температури електродвигуна над температурою навколишнього середовища, град; t – час нагрівання (охолодження), с;

З рівняння (2.11) можна отримати два параметри, що характеризують тепловий режим роботи електродвигуна:

$$\frac{\Delta p}{A} = \tau_y; \quad (2.12)$$

$$\frac{C}{A} = T_n, \quad (2.13)$$

де τ_y – значення перегріву, яке характеризує усталений тепловий стан електродвигуна при даному навантаженні, град; T_n – постійна часу нагріву, с.

Величина T_n характеризує швидкість нагрівання електродвигуна. Її можна уявити собі як час, протягом якого температура електродвигуна досягає сталого значення, що характеризується кінцевим перепадом температур τ_y при відсутності віддачі тепла в навколишнє середовище. Значення T_n залишається незмінним при будь-якому навантаженні електродвигуна, оскільки величини C і A входять у формулу (2.13), визначаються конструктивними даними машини і практично постійні. Вираз (2.13) показує, що T_n буде тим більше, чим більше теплоємність C , яка залежить від розмірів машини. Зі збільшенням габаритів (маси) машини потрібно більше тепла для підвищення її температури на один градус, більшою буде її теплоємність, а отже, постійна часу нагріву T_n . З іншого боку, величина T_n оберненопропорційна тепловіддачі A , яка, у свою чергу, значною мірою залежить від охолодження, тобто від вентиляції машини. Тому за інших рівних умов постійна часу T_n вентиляованих машин значно менше, ніж невентильованих.

Для електродвигунів невеликої потужності T_n приблизно становить 10-20 хв, для великих двигунів – кілька годин.

Процес нагріву електродвигуна, що працює з навантаженням, можна представити як залежність температури від часу. Для цього вирази (2.12) і (2.13) необхідно підставити в основне рівняння нагріву (2.11). Беручи в початковий момент роботи електродвигуна перегрів рівним нулю, отримаємо рівняння нагріву в наступному вигляді:

$$\tau = \tau_y \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right), \quad (2.14)$$

де t – час, для якого визначається перегрів τ , с. На рис. 2.2 показана крива 1 нагріву електродвигуна, побудована за рівнянням (2.14).

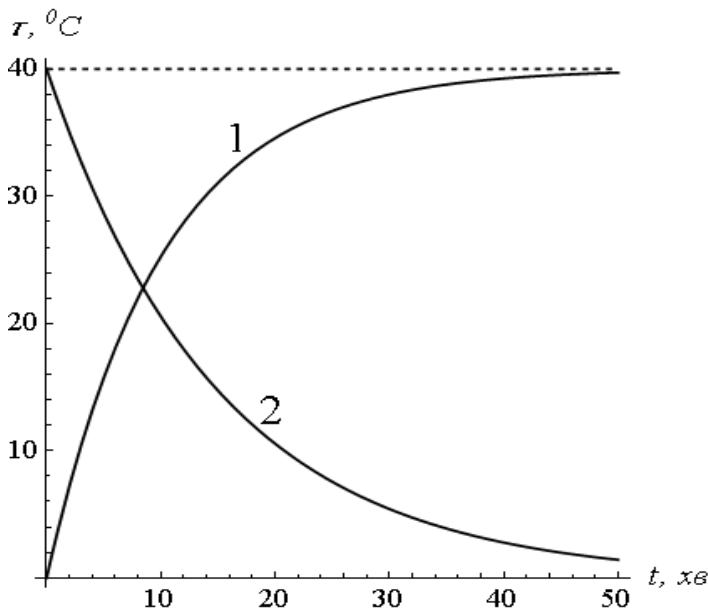


Рис. 2.2. Графіки нагріву 1 та охолодження 2 електродвигуна

Як видно з рис. 2.2, спочатку температура електродвигуна зростає швидко, але в міру його нагрівання зростання її сповільнюється. Теоретично процес нагрівання триває нескінченно довго. Практично ж він вважається закінченим, коли $\tau = 0,95 \tau_y$, що відповідає часу $t = 3T_n$. При відключенні електродвигуна від мережі

нагрів його припиняється і починається процес охолодження, при якому $\Delta p = 0$. Розв'язок рівняння (2.11) для випадку охолодження прийме вигляд:

$$\tau = \tau_y e^{-\frac{t}{T_o}}, \quad (2.15)$$

де T_o – постійна часу охолодження, аналогічна постійній часу нагріву.

При рівності постійних часу T_n та T_o крива охолодження 2 (рис. 2.2) є дзеркальним відображенням кривої нагріву. Але такий стан має місце тільки для електродвигунів, що мають незалежну вентиляцію. Завдяки цьому тепловіддача двигуна при роботі A дорівнює його тепловіддачі в стані спокою A_o , що при незмінності теплоємності C дає $T_n=T_o$.

У електродвигунах з самовентиляцією інтенсивність охолодження в умовах теплообміну і тепловіддачі різна і у великій мірі залежить від кутової швидкості електродвигуна. Тому постійна часу охолодження у нерухомого електродвигуна приблизно в 3-4 рази більша, ніж у працюючого.

Для поліпшення охолодження електродвигуна існує кілька способів вентиляції. Одним з найбільш поширених – самовентиляція, коли частини двигуна, що нагріваються, охолоджуються вентилятором, розташованим на роторі машини (в асинхронних короткозамкнених електродвигунах малої потужності роль вентилятора виконують лопатки, закріплені на короткозамкнених кільцях). Самовентиляція може бути внутрішньою і зовнішньою. При внутрішній самовентиляції в осерді ротора і в статорі є вентиляційні канали.

Якщо канали розташовані паралельно до осі вала, то вентиляція називається аксіальною, якщо перпендикулярно до осі вала, то вентиляція називається радіальною. Для цього сталь ротора і статора ділять на пакети шириною 40-80 мм кожен, а між ними залишають канали шириною до 10 мм. При зовнішній самовентиляції вентилятор винесений на зовнішній кінець вала і обдуває зовнішню поверхню статора, яка виконується ребристою [1].

2.4. Основні конструктивні фактори, які впливають на потужність електродвигуна

При тривалій роботі електродвигуна з номінальним навантаженням рівняння нагріву (2.11) можна представити у вигляді:

$$\Delta p_{ном} = A \tau_y. \quad (2.16)$$

Використовуючи вирази (2.8) та (2.16), номінальну потужність електродвигуна можна виразити через конструктивні фактори, що характеризують його теплові властивості:

$$P_{ном} = A \tau_y \left(\frac{\eta_{ном}}{1 - \eta_{ном}} \right). \quad (2.17)$$

З формули (2.17) видно, що потужність електродвигуна прямопропорційна тепловіддачі A , яка значно залежить від вентиляції. Чим краще вентилюється електродвигун, тим вища тепловіддача. Тому навантаження вентильованих електродвигунів може бути підвищеним в порівнянні з невентильованими. Інакше кажучи, при одних і тих же габаритах потужність вентильованих електродвигунів більше, ніж потужність невентильованих.

У практиці бувають випадки, коли конструктивне виконання електродвигуна не пов'язується з умовами навколишнього середовища. Наприклад, замість закритого встановлюють захищений електродвигун і для захисту від пилу, дрібної стружки його закривають кожухом (ящиком). При цьому погіршується його тепловіддача, а отже, зменшується в 2-3 рази і потужність.

Формула (2.17) дає можливість встановити доцільність застосування нагрівостійкої ізоляції, оскільки при цьому підвищується τ_y , тобто граничний перегрів, що дозволяє при тих же габаритах збільшити потужність електродвигуна і при даній потужності зменшити розміри машини і, отже, її масу. Потужність електродвигуна при одних і тих же габаритах можна підвищити шляхом збільшення коефіцієнта корисної дії, що у свою чергу залежить від зменшення втрат у сталі, механічних та вентиляційних, а також вдосконалення схем електричних обмоток машин.

В умовах експлуатації величини A , τ_y , $\eta_{ном}$ задані і завдання зводиться до того, щоб технічно грамотно їх використовувати. Регулярні продувки, очищення поверхні електродвигунів від пилу збільшують тепловіддачу і дозволяють найбільш повно використовувати його потужність. Неякісний ремонт може викликати значні втрати потужності, що призведе до збільшення нагріву і передчасного виходу електродвигуна з ладу [1].

2.5. Номінальні режими роботи електродвигунів

2.5.1 Тривалий номінальний режим (S1)

Це режим роботи електричної машини при незмінному навантаженні настільки тривалий, що перевищення температури усіх частин електричної машини досягає усталеного значення (рис 2.3).

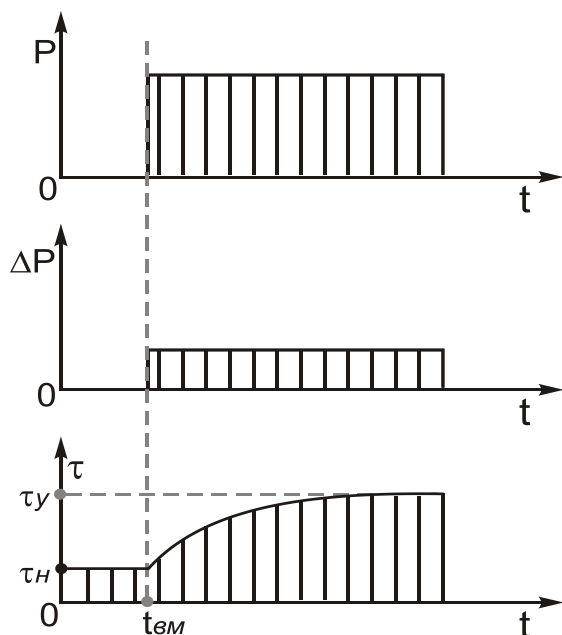


Рис. 2.3. Графіки характеристик при тривалому режимі роботи

На рис 2.3 прийняті такі позначення: P – потужність на валу двигуна, ΔP – потужність втрат двигуна, τ – температури двигуна, τ_n – температура навколишнього середовища, $t_{вм}$ – момент вмикання двигуна. Дотримання установлених норм нагрівання забезпечує нормативний термін служби двигуна (приблизно 20 років) й навпаки, перевищення допустимої температури призводить до руйнування ізоляції й скороченню терміну служби. Так

перевищення допустимої температури (навіть короткочасне) двигуна класу ізоляції А на $5\div 8^\circ\text{C}$ скорочує термін служби двигуна удвічі. Незалежно від технологічного процесу двигуна завжди нагрітий до температури

навколишнього середовища. При розрахунках, пов'язаних з вибором двигуна, враховується максимальне значення її для відповідної кліматичної зони. Для України ця кліматична зона є зоною з помірно холодним кліматом, для якої $\tau_n = +35^\circ\text{C}$.

2.5.2. Короткочасний номінальний режим (S2)

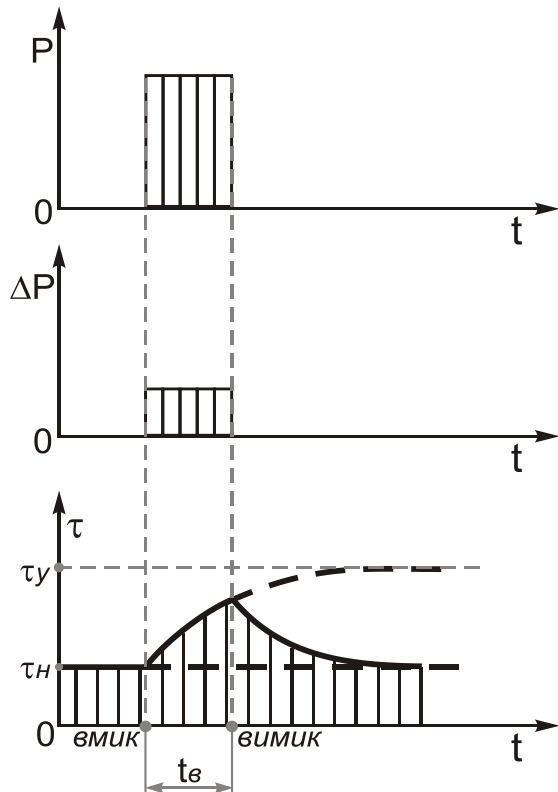


Рис. 2.4. Графіки короткочасного режиму роботи

Це режим роботи електричної машини при якому за робочий період при незмінному навантаженні машина не встигає нагрітися до усталеної температури τ_y нагрівання, а пауза між вимкненим й увімкненим станом настільки тривала, що за цю паузу машина встигне охолонути до температури навколишнього середовища τ_n (рис. 2.4). Для короткочасного номінального режиму роботи рекомендуються такі тривалості робочого періоду t_ϵ (тривалості вмикання): $t_\epsilon = 15; 30; 60; 90$ хв [5].

2.5.3. Повторно-короткочасний номінальний режим (S3)

Тут короткочасні періоди незмінного номінального навантаження (робочі періоди) чергуються з паузами, причому ні на одному з робочих періодів t_ϵ температура нагрівання двигуна не досягає усталеної температури нагрівання τ_y , а при будь-якій паузі t_0 двигун не встигає охолонути до температури навколишнього середовища τ_n (рис. 2.5).

Повторно-короткочасний режим роботи характеризується відносною тривалістю вмикання:

$$TB = \frac{t_e}{t_e + t_0} \cdot 100\% = \frac{t_e}{t_y} \cdot 100\% \quad (2.18)$$

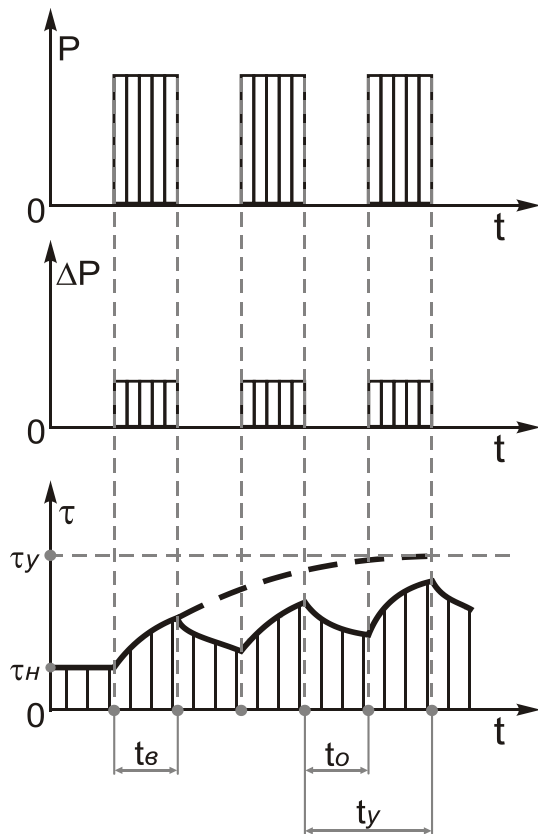


Рис. 2.5. Графіки повторно-короткочасного режиму роботи

де TB - тривалість вмикання; $t_y = t_e + t_0$ - час циклу; t_e - час увімкненого стану (роботи); t_0 - час паузи. Значення TB нормується: $TB = 15; 25; 40; 60$ (%).

Для режиму S3 номінальні дані відповідають тільки певному значенню TB й відносяться до робочого періоду. При цьому вводиться обмеження на допустиму тривалість циклу $t_y < 10$ хв.

Режими S1-S3 є основним режимами. Номінальні дані на двигуни для цих режимів вносяться у паспорт електричної машини та у відповідні каталоги. Режими S1-S3 характерні для багатьох виробничих механізмів (табл. 2.1) [5].

Таблиця 2.1.

Класифікація механізмів за видом їх основних номінальних режимів роботи

Номінальні режими роботи	Машини
S1	Вентилятори; насоси; компреси; гребні гвинти; кормоприготувачі тощо
S2	Розвідні мости; шлюзи; поворотні круги залізничні та трамвайні; розсування завіс, штор тощо
S3	Вантажопідіймальні крани та механізми; ліфти; металорізальні верстати; транспортні машини тощо

2.5.4. Номінальні режими S4-S8

Крім вищеназваних трьох основних номінальних режимів класифікацією передбачені ще п'ять додаткових номінальних режимів S4 - S8, які дозволяють спрощувати задачу визначення потужності електродвигуна. Їх коротка характеристика така: [5]

- ❖ повторно-короткочасний режим роботи електричної машини з частими пусками S4. Цей режим враховує підвищення температури за рахунок втрат від частих пусків;
- ❖ повторно-короткочасний режим з частими пусками й електричним гальмуванням S5. Режим S5 враховує підвищення температури за рахунок втрат від частих пусків й гальмування;
- ❖ повторно-короткочасний режим S6, що аналогічний режиму S3, але відрізняється від нього тим, що після робочого періоду двигун не відмикається, а працює без навантаження на холостому ходу;
- ❖ переміжний режим роботи електричної машини з частими реверсами S7, які чергуються з не досить тривалими періодами незмінного номінального навантаження;
- ❖ переміжний режим роботи машини з двома, або більше швидкостями S8. Режим S8 характеризується тим, що періоди роботи з однією швидкістю й одним навантаженням чергуються періодами роботи з другою швидкістю й другим, відповідним новій швидкості, навантаженням.

Первиною інформацією для розрахунку реального режиму роботи електричного двигуна є так звані навантажувальні діаграми електроприводів.

2.6. Навантажувальні діаграми електроприводів

Навантажувальна діаграма двигуна характеризує залежність у часі обертального моменту, струму або потужності, що розвиває двигун. Навантажувальні діаграми використовуються для оцінки перевантажувальної

здатності двигунів, співставлення її з допустимими короткочасними навантаженням для конкретного типу двигуна, а також для перевірки попереднього вибраного двигуна за нагріванням. Навантажувальна діаграма враховує статичні й динамічні навантаження, які долає двигун протягом циклу роботи механізму. Статичні навантаження визначаються на підставі технологічних даних, що характеризують роботу того чи іншого класу виконавчих механізмів, а динамічні навантаження оцінюються інерційними моментами, які долаються двигуном для забезпечення відповідних кутових прискорень, що забезпечують задані параметри технологічному процесу, або механізму. Навантажувальні діаграми доцільно розглядати для конкретних типових механізмів, наприклад, електропривода підйомного механізму (рис. 2.6, а).

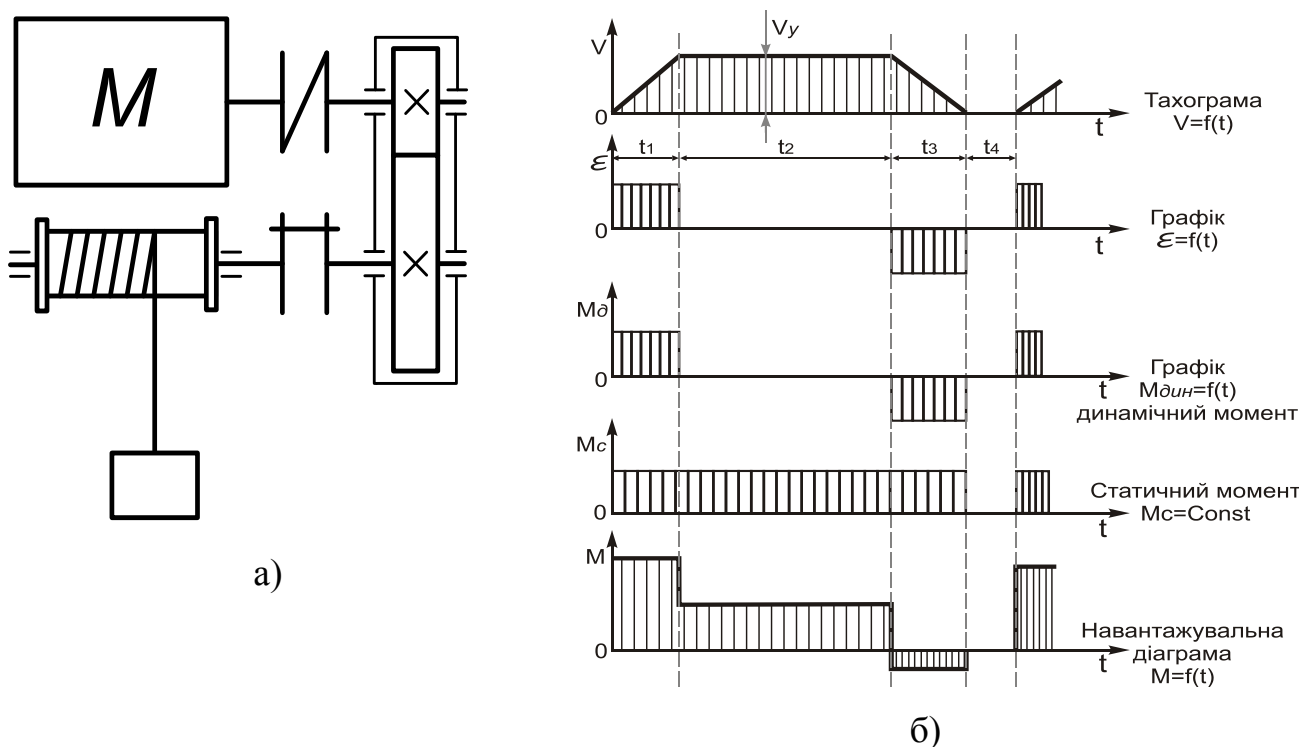


Рис. 2.6. Підйомний механізм: а) кінематична схема; б) побудова навантажувальної діаграми

Побудова навантажувальної діаграми (рис. 2.6, б) полягає в наступному. У відповідності до технологічного процесу та параметрів механічного обладнання, а також відповідно з продуктивністю підйомного механізму

задається наближена діаграма швидкості v (тахограма) одного циклу роботи підіймача й наближена діаграма прискорення ε . Тахограма передбачає тривалість прискорення t_1 , тривалість усталеного режиму t_2 з усталеною швидкістю v_y , тривалість сповільнення t_3 й час паузи між сусідніми підніманнями t_4 .

Графіку швидкості відповідає графік кутового прискорення й сповільнення, значення яких постійні за величиною та різні за знаком відповідно на ділянках t_1 й t_3 . На ділянках пуску й гальмування складові динамічного моменту дорівнюють:

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.19)$$

де J_{Σ} – зведений до вала двигуна момент інерції рухомої частини електроприводу. Далі визначається статичний момент навантаження зведений до вала двигуна:

$$M_c = F_c R \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (2.20)$$

де F_c – статичне зусилля у канаті; R – радіус зведення (радіус канатного барабана); η – ККД передач. Орієнтовно потужність двигуна визначається за виразом:

$$P = \frac{\kappa_3 \cdot F_c \cdot \omega \cdot R}{\eta}, \quad (2.21)$$

де $\kappa_3=1,2-1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує вплив динамічних моментів; ω – кутова усталена швидкість підйомного механізму.

Підйомний механізм відноситься до 1-го класу виконавчих механізмів, для яких $M_c = \text{const}$. Останній графік на рис. 2.6, б є навантажувальною діаграмою двигуна, яка одержана складанням статичного і динамічного моментів у відповідності до рівняння руху $M = M_c + M_d$. Таким чином, момент M у

залежності від співвідношення статичного й динамічного моментів на ділянці уповільнення двигуна може мати, або додатне, або від'ємне значення [5].

2.7. Розрахунок потужності електродвигуна при тривалому режимі роботи S1 й незмінному навантаженні

Існує ціла низка механізмів, що працюють тривалий час з незмінним навантаженням, або з навантаженням, що мало змінюється. Розрахунок потужності двигуна вельми простий у цьому випадку, якщо відома потужність споживана механізмом. Вибравши двигун за потужністю, можна бути певним, що його температура не буде перевищувати допустиму. Якщо у каталозі немає двигуна на розраховану потужність, то слід вибрати найближчий більшої потужності.

Оскільки при тривалому режимі двигун запускається рідко, то нагріванням від пускових втрат можна знехтувати. Але в окремих випадках слід перевіряти достатність пускового моменту, що розвиває двигун (для механізмів, що мають підвищений момент тертя при пуску).

Наприклад, потужність двигуна для насоса визначається за формулою:

$$P = \frac{k_3 \cdot g \cdot Q_n \cdot H \cdot \gamma}{\eta_n \cdot \eta_n}, \quad (2.22)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, який приймається рівним 1,1-1,3; g – прискорення вільного падіння, м/с²; Q_n – продуктивність насоса, м³/с; H – розрахункова висота піднімання води, м; γ – густина води, кг/м³; η_n – ККД насоса (якщо відцентровий насос, то $\eta_n = 0,5 \div 0,8$ для високого тиску, $\eta_n = 0,3 \div 0,6$ для низького тиску); η_n – ККД передачі від двигуна до насоса.

Приклад 1. Вибрати асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором для приводу відцентрового насоса, що забезпечує при кутовій швидкості $\omega=290$ рад/с продуктивність $Q = 100$ м³/год (0,028 м³/с) і розрахунковий напір $H=98$ м. Густина рідини (води) $\gamma=1000$ кг/м³. Насос

безпосередньо з'єднаний з електродвигуном ($\eta_n=1$), ККД насоса $\eta_{нас}=0,62$. Пуск електродвигуна здійснюється вхолосту. Регулювання швидкості насоса не потрібне.

Потужність електродвигуна знаходимо за формулою (2.22):

$$P = \frac{1,1 \cdot 9,8 \cdot 0,028 \cdot 98 \cdot 1000}{0,62 \cdot 1} = 47710 \text{ Вт.}$$

Вибираємо по каталогу електродвигун з $P_{ном}=55$ кВт; $U_{ном}=380$ В; $\omega_{ном}=295$ рад/с. Оскільки номінальна частота обертання електродвигуна практично не відрізняється від частоти обертання насоса, перерахунок потужності не потрібний.

Приклад 2. Розрахувати потужність електродвигуна для приводу вентилятора, що забезпечує при кутовій швидкості $\omega=100$ рад/с продуктивність $Q=3$ м³/с і тиск $P=570$ Па. Значення ККД вентилятора $\eta=0,64$. Вентилятор безпосередньо з'єднаний з електродвигуном. Необхідну потужність електродвигуна визначимо за формулою:

$$P = \frac{k_z \cdot Q_n \cdot H \cdot \gamma}{\eta_n \cdot \eta_n} = \frac{1,1 \cdot 3 \cdot 570}{0,64 \cdot 1} = 2939 \text{ Вт,}$$

де k_z – коефіцієнт запасу. Приймаємо по каталогу асинхронний короткозамкнений електродвигун з номінальною потужністю $P_{ном}=3$ кВт [1].

Приклад 3. Розрахувати потужність електродвигуна для приводу стрічкового транспортера, швидкість руху стрічки якого рівна 4 м/с. Перший етап у розрахунку – визначення опору руху тягового органу P_0 . Нехай попередньо визначено, що $P_0=395$ Н. Для приводу транспортера необхідно також перебороти інші опори, наприклад, у підшипниках приводного барабана. Тоді до вала приводного барабана треба підвести потужність:

$$P_T = v_c P_0 c_0 = 4 \cdot 394,88 \cdot 1,1 = 1737,472 \text{ Вт,}$$

де v_c – швидкість стрічки, м/сек;

P_0 – рушійна сила (сила натягу стрічки на приводному барабані), Н;
 $c_0=1,1\dots1,3$ – коефіцієнт, який враховує опір на приводному барабані (жорсткість стрічки і тертя у підшипниках) – більші значення для барабанів на підшипниках ковзання.

Потужність, що відбирається від вала двигуна, визначається за такою формулою:

$$P = K \frac{P_T}{\eta_T} \cdot 10^{-3} = 1,1 \frac{1737,472}{0,8} \cdot 0,001 = 2,39 \text{ кВт},$$

де $K = 1,1\dots1,25$ – коефіцієнт, що враховує короткочасне перевантаження в момент пуску транспортера під навантаженням (менше значення для електродвигунів, більше – для двигунів внутрішнього згоряння);

η_T – ККД трансмісії, який береться для попередніх розрахунків рівним $0,6\dots0,95$ (залежно від кількості передавальних пар і їх типу).

За цією потужністю вибирають двигун за каталогом заводів-виготовлювачів. Приймаємо електродвигун сільськогосподарського призначення 4А 100 4СУ3, який має наступні параметри: $P_{\text{ном}}=3$ кВт; $\omega_{\text{ном}}=145$ рад/с; $\eta_{\text{ном}}=82\%$; виконання М100.

2.8. Розрахунок потужності двигуна при тривалому режимі роботи S1 й змінному циклічному навантаженні

При тривалому змінному навантаженні, графік якого у загальному вигляді за цикл t_y наведений на рис. 2.7, розрахунок попередньо вибраного двигуна тривалого режиму роботи слід виконувати за нагріванням шляхом визначення найбільшої реальної температури нагрівання за цикл τ_{yp} , а потім для заданого класу ізоляції двигуна порівняти її з допустимим перевищенням температури τ_δ . При цьому повинна виконуватись умова:

$$\tau'_{yp} \leq \tau_\delta \quad (2.23)$$

де τ'_{yp} – установлена реальна найбільша температура нагрівання двигуна за цикл (рис. 2.8).

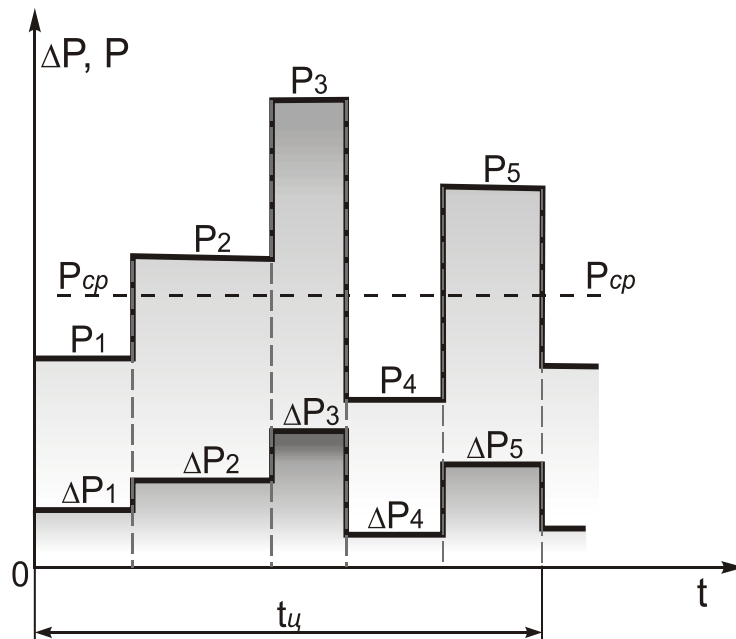


Рис.2.7. Графік тривалого змінного циклічного навантаження

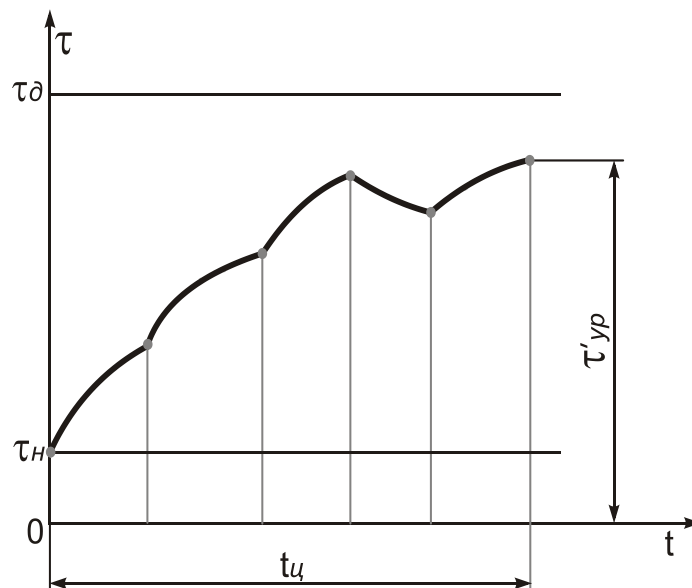


Рис. 2.8. Графік нагрівання двигуна за циклом навантаження

Перевірка потужності двигуна таким чином вимагає досить складної та трудомісткої побудови кривих нагрівання й охолодження. У реальних умовах йдуть іншим шляхом. Вибір двигуна за найбільшим (P_3) або найменшим (P_4) (рис. 2.7), навантаженнями неприйнятний, бо у першому випадку потужність

двигуна була б завищеною, а у другому – заниженою. Вибір за середнім значенням навантаженням механізму також неприйнятний, оскільки нагрівають двигун втрати потужності, які визначаються навантаженням. Вони, в свою чергу, пропорційні квадрату струму навантаження (середня потужність не враховує квадратичної залежності від струму навантаження). Ця розбіжність збільшується при збільшенні коливань навантаження у межах циклу. За таких умов потужність двигуна, вибрана за середнім навантаженням виявляється заниженою. На практиці розрахунок потужності двигуна при тривалому режимі роботи й змінному циклічному навантаженні здійснюють більш простими методами: середніх втрат; еквівалентного струму, потужності, моменту [5].

2.8.1. Метод середніх втрат

Суть методу полягає у тому, що перевищення температури двигуна при незмінній теплопередачі визначається середніми втратами за цикл:

$$\Delta P_{cp} = \sum_{i=1}^m \Delta P_i \cdot t_i \cdot \frac{1}{t_u}, \quad (2.24)$$

де ΔP_1 – потужність втрат на i -му інтервалі; t_i – тривалість i -го інтервалу; m – число інтервалів у циклі (для графіка навантаження, що представлений на рис. 2.7 число інтервалів у циклі $m=5$); t_u – тривалість циклу. Для цього графіка середні втрати за цикл у відповідності до (2.24) будуть

$$\Delta P_{cp} = \sum_{i=1}^5 \Delta P_i \cdot \frac{t_i}{t_u} = \frac{\Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_2 \cdot t_2 + \Delta P_3 \cdot t_3 + \Delta P_4 \cdot t_4 + \Delta P_5 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}. \text{ Знайдені середні втрати за}$$

цикл порівнюються з номінальними $\Delta P_{ном}$. Якщо $\Delta P_{cp} < \Delta P_{ном}$, то перевищення температури буде не більше допустимого значення.

Приклад. Розрахувати потужність і вибрати асинхронний короткозамкнутий електродвигун для приводу токарного верстата. Графік навантаження на валу електродвигуна наведено на рис. 2.9. Кутова швидкість на валу електродвигуна $\omega=150$ рад/с; потужність холостого ходу верстата

$P_{x.x.}=1$ кВт; час холостого ходу $t_{x.x.}=4$ с; потужність на валу в режимі навантаження: $P_1 = 4,2$ кВт; $P_2 = 3$ кВт, відповідно $t_1= 5$ с; $t_2=2$ с. Попередньо вибираємо електродвигун за середньою потужністю з урахуванням коефіцієнта запасу k_3 :

$$P_{cp} = k_3 \frac{P_{x.x.} \cdot t_{x.x.} + P_1 \cdot t_1 + P_{x.x.} \cdot t_{x.x.} + P_2 \cdot t_2}{t_{x.x.} + t_1 + t_{x.x.} + t_2} =$$

$$= 1,3 \frac{1 \cdot 4 + 4,2 \cdot 3 + 1 \cdot 4 + 3 \cdot 2}{4 + 3 + 4 + 2} = 2730 \text{ Вт.}$$

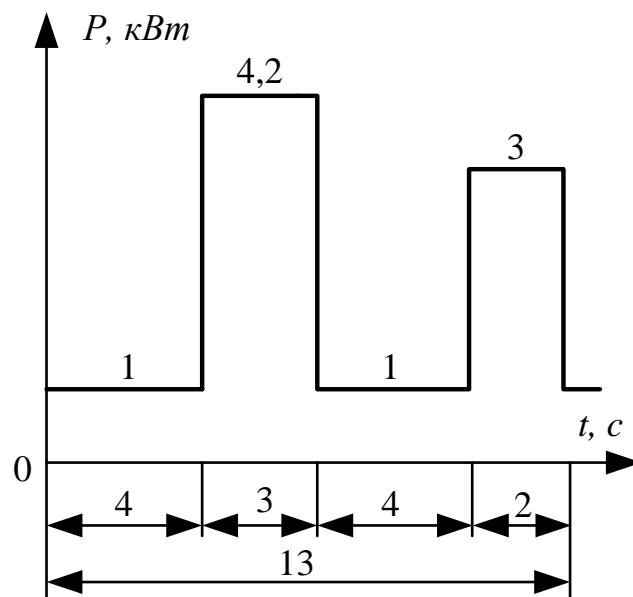


Рис. 2.9. Навантажувальний графік на валу електродвигуна

По каталогу приймаємо електродвигун потужністю 3 кВт. Для обраного попередньо двигуна значення ККД при часткових навантаженнях (по каталогу)

$k_{нав}$	25	50	75	100	125
$\eta, \%$	75,5	82	83	82	79,5

За цими даними будуюмо криву ККД в функції навантаження (рис. 2.10) і визначаємо втрати потужності при навантаженнях 1, 3, 4,2 кВт за формулою $\Delta p = P(1-\eta)/\eta$.

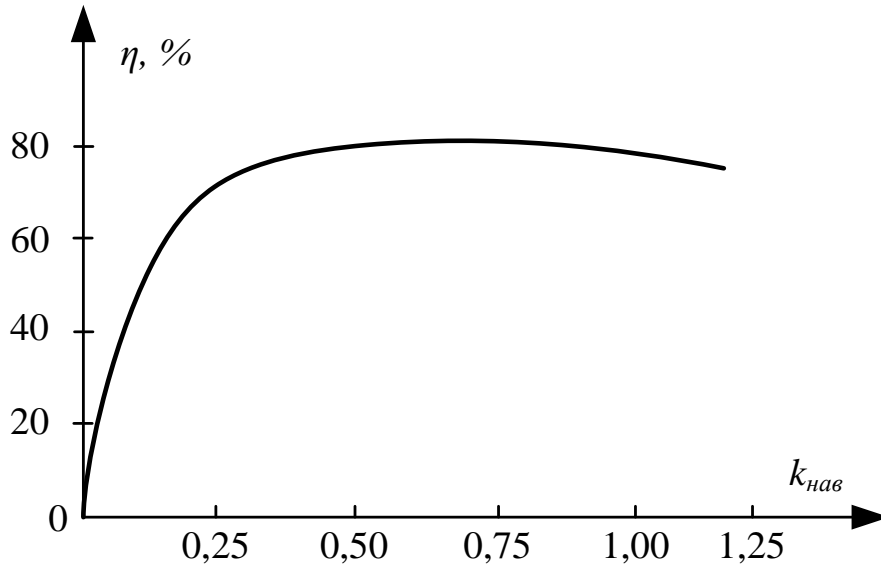


Рис. 2.10. Графік зміни ККД двигуна при зміні навантаження

Втрати відповідно становлять 0,43; 0,66 і 1,1 кВт. Втрати при номінальному навантаженні $\Delta p = 3000(1 - 0,82)/0,82 = 660$ Вт.

Знаходимо середні втрати за формулою (2.24):

$$P_{cp} = \frac{\Delta P_{x.x.} \cdot t_{x.x.} + \Delta P_1 \cdot t_1 + \Delta P_{x.x.} \cdot t_{x.x.} + \Delta P_2 \cdot t_2}{t_{x.x.} + t_1 + t_{x.x.} + t_2} =$$

$$= \frac{0,43 \cdot 4 + 1,1 \cdot 3 + 0,43 \cdot 4 + 0,66 \cdot 2}{4 + 3 + 4 + 2} = 620 \text{ Вт.}$$

Оскільки середні втрати приблизно рівні номінальним, то електродвигун задовольняє вимогам нагрівання.

Пуск електродвигуна здійснюється вхолосту, тому перевірка за пусковим моментом не проводиться. Перевірка електродвигуна за перевантажувальною здатністю вимагає, щоб найбільший момент по навантажувальній діаграмі $M_{макс.зр}$ був менше максимального моменту, що розвивається електродвигуном.

$$M_{макс.зр.} < 0,9^2 M_{макс.} \quad (2.25)$$

де величина $0,9^2$ враховує можливе зниження напруги в експлуатаційних умовах на 10%. Максимальний момент $M_{макс} = k_M M_{ном} = 50$ Нм. Найбільший

момент по навантажувальній діаграмі знаходимо виходячи з умови, що кутова швидкість і коефіцієнт потужності електродвигуна практично не змінюються від моменту холостого ходу до максимального моменту. При цьому матиме місце пропорційність між найбільшою потужністю по діаграмі і відповідним їй найбільшим моментом. Таким чином $M_{\text{макс.гр}} \approx P_1 \cdot 10^3 / \omega_{\text{ном}} = 4,2 \cdot 10^3 / 144 = 29 \text{ Нм}$. Електродвигун підходить по перевантаженню, оскільки згідно рівності $M_1 = 29 \text{ Нм} < 0,9^2 M_{\text{макс}} = 0,9^2 \cdot 50 \approx 40 \text{ Нм}$ [1].

2.8.2. Метод еквівалентного струму

При умовах коли відомий графік споживання струму за цикл (рис. 2.11), потужність двигуна для цього випадку можна вибрати, використавши метод еквівалентного струму.

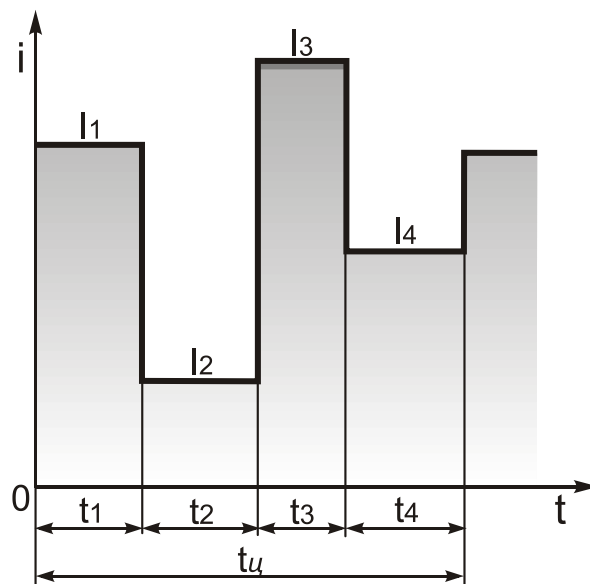


Рис. 2.11. Графік споживаного двигуном струму за цикл навантаження

Цей метод заснований на заміні реального струму двигуна, що змінюється при зміні навантаження на так званий еквівалентний струм певної величини, який у двигуні викликає би ті ж самі втрати, що й реальний струм. Наприклад, еквівалентний струм для двигуна, який характеризується зміною споживаного струму (рис. 2.11), буде дорівнювати:

$$I_E = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3 + I_4^2 \cdot t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \quad (2.26)$$

В узагальненому вигляді формулу (2.26) можна записати так:

$$I_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m I_i^2 \cdot t_i}{t_y}} \quad (2.27)$$

Таким чином, якщо відома крива зміни струму навантаження при заданому графіку роботи виконавчого механізму, то можна вибрати попередньо потужність двигуна способом середніх втрат, а потім визначити величину еквівалентного струму за формулою (2.27) й порівняти з номінальним струмом вибраного двигуна. Якщо $I_E < I_{ном}$, то двигун придатний для механізму з заданим графіком навантаження [5].

2.8.3. Методи еквівалентного моменту та потужності

Бувають випадки коли відомий не графік зміни струму навантаження, а графіки моменту або потужності, які створює двигун. У цьому випадку слід користуватись методом еквівалентного моменту й методом еквівалентної потужності відповідно (методика аналогічна методу еквівалентного струму):

$$M_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m M_i^2 \cdot t_i}{t_y}}; \quad (2.28)$$

$$P_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m P_i^2 \cdot t_i}{t_y}}. \quad (2.29)$$

Так метод еквівалентного струму неможливо застосувати для асинхронних двигунів з глибокопадною короткозамкненою кліткою та двокліткового ротора, оскільки у них опір ротора змінний.

Метод еквівалентного моменту може бути застосований для тих двигунів у яких використовується метод еквівалентного струму, оскільки момент пропорційний струму, а такі співвідношення мають двигуни постійного струму незалежного (паралельного) збудження та звичайні асинхронні двигуни. За цих же умов ці методи неможливо використовувати для двигунів постійного струму послідовного збудження.

Метод еквівалентної потужності можна застосовувати для двигунів, у яких потужність пропорційна струму. Це синхронні та асинхронні двигуни та двигуни постійного струму незалежного збудження, коли вони працюють з номінальним потоком й незмінною та мало змінною швидкістю.

Метод еквівалентної потужності неможливо застосовувати для двигунів у яких змінюється швидкість.

У всіх випадках де не використовується метод еквівалентних величин двигун на нагрівання слід перевіряти методом середніх втрат.

Приклад. Визначити потужність електродвигуна для приводу механізму, що працює за навантажувальною діаграмою, наведеною на рис. 2.12.

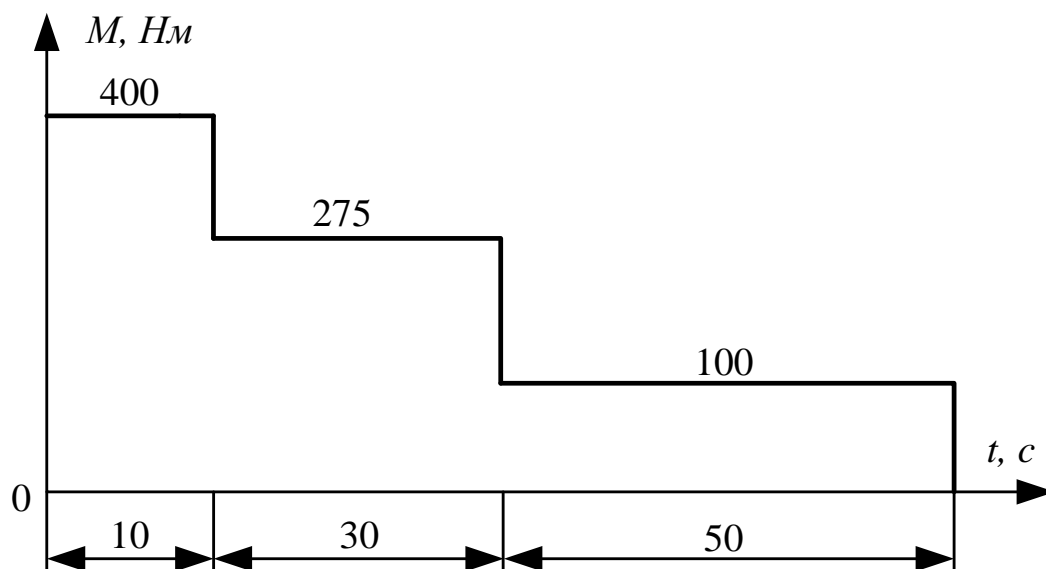


Рис. 2.12. Графік зміни моменту на валу двигуна

Кутова швидкість приводного двигуна $\omega=145 \text{ рад/с}$. За формулою (2.28) знаходимо еквівалентний момент:

$$M_E = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = \sqrt{\frac{400^2 \cdot 10 + 257^2 \cdot 30 + 100^2 \cdot 50}{10 + 30 + 50}} = 213 \text{ Нм}$$

Розрахункова потужність електродвигуна:

$$P = M_E \omega = 213 \cdot 145 = 30900 \text{ Вт}$$

Приймаємо по каталогу найближчий більший по потужності асинхронний короткозамкнутий електродвигун з наступними параметрами: $P_{ном}=37$ кВт. Номінальний момент попередньо обраного електродвигуна $M_{ном}=252$ Нм. Максимальний і пусковий моменти з урахуванням можливого зниження напруги в експлуатаційних умовах на рівні 10%: $M_{max}=0,9^2 \cdot 2,5 \cdot 252=504$ Нм. $M_{пуск}=0,9^2 \cdot 1,4 \cdot 252=286$ Нм. Момент опору при пуску 400 Нм. Таким чином, обраний електродвигун не задовольняє пусковим умовам, оскільки $M_{пуск}=286 \text{ Нм} < 400 \text{ Нм}$. Наступний електродвигун потужністю 45 кВт. Однак, як показують розрахунки, і цей електродвигун не забезпечує потрібного пускового моменту. Виходячи з умов завдання, потрібно брати електродвигун потужністю 75 кВт. Він задовольнятиме вимогам пуску, але має низькі енергетичні та економічні показники в порівнянні з електродвигуном потужністю 37 кВт, який обраний за умовою нагріву.

Розглянемо інший варіант розрахунку. Прийнемо електродвигун з підвищеним пусковим моментом: $P_{ном}=37$ кВт; $M_{пуск}=0,9^2 \cdot 2 \cdot 37000/147=400$ Нм. Як видно з розрахунку, даний електродвигун задовольняє як вимогам нагріву, так і умовами механічного перевантаження і пускового моменту. Отже, в тих випадках, коли момент опору при пуску має великі значення (перевищує номінальний), доцільно приймати електродвигуни з підвищеним пусковим моментом [1].

2.9. Визначення допустимої частоти вмикань асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором

При значній частоті вмикань асинхронного двигуна суттєвими стають втрати у перехідних режимах, які викликають інтенсивне нагрівання двигуна, яке у свою чергу лімітує кількість вмикань, гальмувань та реверсів. Ці проблеми є важливими для металорізальних верстатів, пресів, допоміжного обладнання (допоміжні привода прокатних станів), де часті вмикання двигуна у більшості випадків є основними умовами технологічного процесу.

У зв'язку з цим виникає задача визначення мінімально допустимої тривалості робочого циклу $t_{ц.доп.}$, при якій перевищення температури не досягає допустимого рівня, або допустимої частоти робочих циклів, які характеризуються допустимим числом вмикань у годину h_0 .

Особливо важлива ця проблема для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, оскільки у цьому випадку всі втрати енергії виділяються в межах самої машини, в той час як для двигунів постійного струму та асинхронного двигуна з фазним ротором частина втрат енергії виділяється за межами машини (у резисторах якірних або роторних кіл). Тому розглянемо саме асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Припустимо, що робочий період t_e складається із періоду пуску t_n , часу роботи в усталеному режимі t_y при незмінному навантаженні й часу гальмування t_2 . Тривалість робочого циклу $t_{ц}$ складається з тривалості робочого періоду t_e й паузи t_0 , за час якої двигун відімкнений від мережі (відповідна тахограма показана на рис 2.13).

Втрати енергії, що виділяється за цикл, складається із витрат енергії за час пуску ΔA_n , гальмування ΔA_2 й роботи в усталеному режимі з незмінним навантаженням $\Delta A_y = \Delta P \cdot t_y$. Втрати енергії, які виділені в навколишнє середовище, за час роботи з усталеною швидкістю дорівнюють $\Delta P_{ном} \cdot t_y$, за час паузи $\beta_0 \Delta P_{ном} \cdot t_0$, а за час пуску й гальмування $\beta_{cp} \Delta P_{ном} \cdot (t_n + t_2)$ (де β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при вимкненому двигуні; β_{cp} – коефіцієнт погіршення

тепловіддачі за час пуску й гальмування, який вибирається середнім між початковим й кінцевим значеннями цього коефіцієнта).

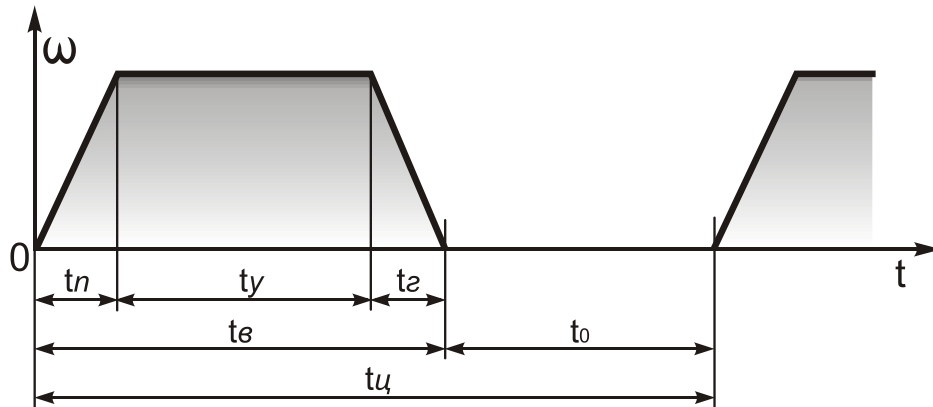


Рис. 2.13. Графік зміни кутової швидкості руху приводу

Для більш протяжного (у часі) циклу роботи, де настає квазіусталений тепловий режим роботи двигуна, кількість виділених втрат енергії дорівнює кількості втрат енергії, що віддані у навколишнє середовище:

$$\Delta A_n + \Delta P_0 \cdot t_y + \Delta A_z = \Delta P_{ном} \cdot (t_n + t_z) \cdot \beta_{cp} + \Delta P_{ном} \cdot t_y + \Delta P_{ном} \cdot t_0 \cdot \beta_0. \quad (2.30)$$

Якщо час циклу, час усталеної роботи та час паузи (усе в секундах) виразити через кількість вмикань у годину, то будемо мати:

$$\left. \begin{aligned} t_n &= \frac{3600}{h_\partial} \\ t_y &= 3600 \cdot \frac{ПВ}{h_\partial} - (t_n + t_z) \\ t_0 &= 3600 \frac{1 - ПВ}{h_\partial} \end{aligned} \right\} \quad (2.31)$$

де період вмикання ПВ заданий не у %, а у відносних одиницях. Зробивши перетворення, одержимо:

$$h_\partial = \frac{3600 \cdot [(\Delta P_{ном} - \Delta P) \cdot ПВ + \Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1 - ПВ)]}{\Delta A_n + \Delta A_z - (t_n + t_z) \cdot [\Delta P + \Delta P_{ном} \cdot \beta_{cp} - \Delta P_{ном}]} \quad (2.32)$$

Для асинхронного двигуна у знаменнику (2.32) третім членом порівняно з сумою двох перших можна знехтувати. Тоді (2.32) можна переписати:

$$h_{\phi} \cong 3600 \cdot \frac{(\Delta P_{ном} - \Delta P) \cdot ПВ + \Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1 - ПВ)}{\Delta A_n + \Delta A_2}. \quad (2.33)$$

Якщо в усталеному режимі двигун працює з номінальною потужністю, тоді формула (2.33) ще більше спроститься:

$$h_{\phi} \approx 3600 \cdot \frac{\Delta P_{ном} \cdot \beta_0 \cdot (1 - ПВ)}{\Delta A_n + \Delta A_2}. \quad (2.34)$$

Із (2.34) видно, що число вмикань за годину залежить від навантаження двигуна, від його ПВ, від коефіцієнта погіршення тепловіддачі β_0 та втрат енергії у перехідних процесах $(\Delta A_n + \Delta A_2)$. Зі зменшенням ΔP , ΔA_n , ΔA_2 допустима кількість вмикань за годину двигуна зростає. Збільшення допустимої кількості вмикань можна досягти незалежною вентиляцією двигуна, яка діє однаково інтенсивно протягом усього циклу.

Суттєве збільшення частоти вмикань можна досягти шляхом зменшення втрат енергії у передніх процесах, наприклад, використовуючи частотне керування двигуна [6].

Список використаних джерел

1. Кузнецов Б.В. Выбор электродвигателей к производственным механизмам / Б.В. Кузнецов. – Мн.: Беларусь, 1984. – 80 с.
2. Лавріненко Ю.М. Електропривод / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко [за ред. Лавріненка Ю.М.]. – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.
3. Фираго Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. – Мн: ЗАО „Техноперспектива”, 2004. – 527 с.
4. Олійник В.С. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.Н. Гайдук, В.Ф. Гончар. [за ред. Олійника В.С.]. (3-е вид., переробл. і доповн.) – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
5. Бондаренко В.І. Основи електричного привода / В.І. Бондаренко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 313 с.
6. Ловейкін В.С. Частотне керування асинхронним приводом / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – Ніжин.: Міланік, 2011. – 98 с.

Додаток А

Установочно-присднувальні розміри двигунів серії 4АМ для виконання ІМ1081

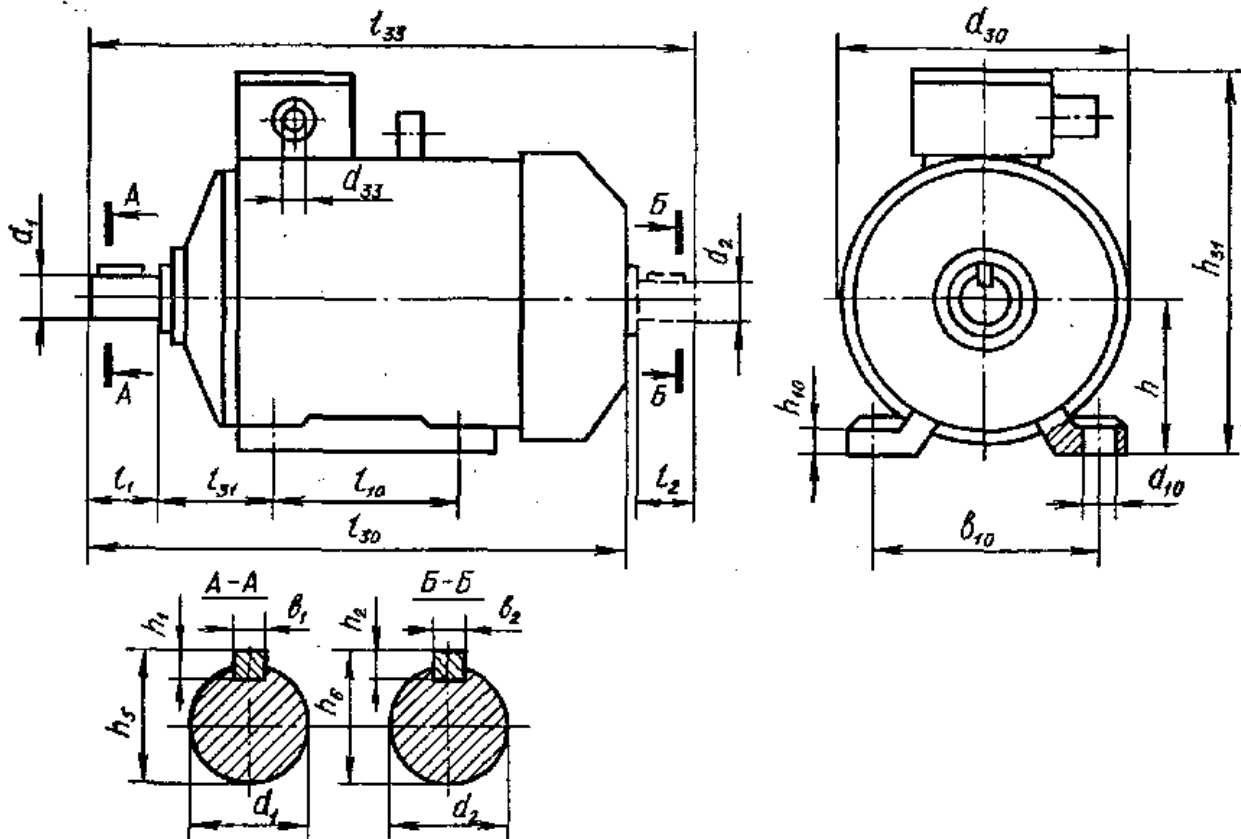


Рис. В.1 Позначення установочно-присднувальних розмірів електродвигунів за
ГОСТ 4541-70

Таблиця А

**Установочно-присднувальні розміри двигунів серії 4АМ для виконання
ІМ1081, мм**

Типи	Кількість полюсів	h	l_{31}	l_{10}	b_{10}	d_{10}	h_{10}	d_1	l_1	h_5	b_1	a_1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4ААМ50	2,4	50	32	63	80	5,8	6	9	20	10,2	3	3
4ААМ56	2,4	56	36	71	90	5,8	7	11	23	12,5	4	4
4ААМ63	2, 4, 6	63	40	80	100	7	7	14	30	16,0	5	5
4АМ71	2, 4, 6, 8	71	45	90	112	7	9	19	40	21,5	6	6
4АМ80	2, 4, 6, 8	80	50	100	125	10	10	22	50	24,5	6	6
4АМ90L	2, 4, 6, 8	90	56	125	140	10	11	24	50	27,0	8	7

Продовження таблиці А

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
4AM100S	2,4	100	63	112	160	12	12	28	60	31,0	8	7
4AM100L	2, 4, 6, 8	100	63	140	160	12	12	28	60	31,0	8	7
4AM112M	2, 4, 6, 8	112	70	140	190	12	12	32	80	35	10	8
4AM132S	4, 6,8	132	89	140	216	12	13	38	80	41	10	8
4AM132M	2, 4, 6, 8	132	89	178	216	12	13	38	80	41	10	8
4AM160S	2	160	108	178	254	15	18	42	110	45	12	8
	4,6,8		108	178	254	15	18	48	110	51,5	14	9
4AM160M	2	160	108	210	254	15	18	42	110	45	12	8
	4, 6,8		108	210	254	15	18	48	110	51,5	14	9
4AM180S	2	180	121	203	279	15	20	48	110	51,5	14	9
	4		121	203	279	15	20	55	110	59	16	10
4AM180M	2	180	121	241	279	15	20	48	110	51,5	12	9
	4, 6,8		121	241	279	15	20	55	110	59	16	10
4AM200M	2	200	133	267	318	19	25	55	110	59	16	10
	4, 6,8		133	267	318	19	25	60	140	64	18	11
4AM200L	2	200	133	305	318	19	25	55	110	59	16	10
	4, 6,8		133	305	318	19	25	60	140	64	18	11
4AM225M	2	225	149	311	356	19	28	55	110	59	16	10
	4, 6,8		149	311	356	19	28	65	140	69	18	11
4AM250S	2	250	168	311	406	24	30	65	140	69	18	11
	4, 6,8		168	311	406	24	30	75	140	79,5	20	12
4AM250M	2	250	168	349	406	24	30	65	140	69	18	11
	4, 6,8		168	349	406	24	30	75	140	79,5	20	12

Додаток Б

Модифікації та спеціалізовані виконання електродвигунів серії 4АМ

Модифікації та виконання	Умовні позначення	Габарити*
Основне виконання загального призначення	4АМ	50-250
З підвищеним пусковим моментом	4АМР	160-250
З підвищеним ковзанням	4АМС	71-250М
Багатошвидкісні	4АМ	56-250S
З вбудованим температурним захистом	4АМ..Б	56-200
Вбудовані	4АМВ	50-250М
З вбудованим електромагнітним гальмом	4АМ..Е	56-160S
Підвищеної точності за установочними розмірами	4АМ...П	56-250М
Для ліфтів	4АМН...НЛБ	160-250М
Малошумні	4АМ..Н	56-132М
Для моноблочних насосів	4АМ..Ж	80-250S
Для прибудови до редукторів	4АМ..РЗ	71-180
Стійкі проти дії вологи	4АМ..У2	50-250
Стійкі проти дії хімічних речовин	4АМ..Х2У3	50-250S
Пилозахищені	4АМ..УПУ3	50-250М
Тропічні	4АМ..Т2	50-250S
Стійкі проти дії холоду	4АМ..ХЛ2	56-132М
Для шахт	4АМ..РНУ2	112-250S
Для пташників	4АМП...У2	71-100
Сільськогосподарські	4АМ..СУ1	50-200L
Сільськогосподарські для короткочасного режиму роботи	4АМ...КрСУ1	56-132
Морські	4АМ..ОМ2	56-132
Однофазні	4ААМ	50-80

*Габарит двигуна позначають числом, що дорівнює висоті осі обертання, в поєднанні з позначенням довжини станини (S, M, L)

Додаток В

Виконання двигунів серії 4AM за способом монтажу

Конструктивні виконання	Положення вала у просторі	Ступінь захисту	Висота осі обертання, мм
IM 1081, IM1082, IM2081, IM2082	Будь-яке	IP44, IP54	50-250
IM2181, IM2182		IP44, IP54	50-90
IM3081		IP44, IP54	50-180
IM3011, IM3012	Вертикальне, кінцем вала вниз	IP44, IP54	200-250
IM3031, IM3032	Вертикальне, кінцем вала вверх	IP44, IP54	
IM368I, IM3682	Будь-яке	IP44, IP54	50-100
IM1001, IM 1002	Тільки горизонтальне лапами вниз	IP23	160-250

Додаток Г

Таблиця Г

Технічні характеристики двигунів серії 4АМ

Марка	Номинальна потужність, кВт	Номинальна швидкість, об/хв	ККД, %	$\cos \varphi$	Кратність максимального моменту $M_{\max}/M_{\text{ном}}$	Кратність пускового моменту $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$	Кратність мінімального моменту $M_{\min}/M_{\text{ном}}$	Кратність пускового струму $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронна частота обертання 3000 об/хв								
4ААМ56А2	0,18	2760	66	0,76	2,2	2	1,2	5
4ААМ56В2	0,25	2760	68	0,77	2,2	2	1,2	5
4АМ63А2	0,37	2751	70	0,86	2,2	2	1,2	5
4АМ63В2	0,55	2745	73	0,86	2,2	2	1,2	5
4АМ71А2	0,75	2841	77	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4АМ71В2	1,1	2811	77,5	0,87	2,2	2	1,2	5,5
4АМ80А2	1,5	2850	81	0,85	2,2	2	1,2	6,5
4АМ80В2	2,2	2850	83	0,87	2,2	2	1,2	6,5
4АМ90L2	3	2838	84,5	0,88	2,2	2	1,2	6,5
4АМ100S2	4	2880	86,5	0,89	2,2	2	1,2	7,5
4АМ100L2	5,5	2880	87,5	0,91	2,2	2	1,2	7,5
4АМ112M2	7,5	2925	87,5	0,88	2,2	2,1	1	7,5
4АМ132M2	11	2931	88	0,9	2,2	1,8	1	7,5
4АМ160S2	15	2910	88	0,9	2,7	1,6	1,3	7
4АМ160M2	18,5	2910	89	0,9	2,7	1,6	1,3	7
4АМ180S2	22	2925	88,5	0,89	22,7	1,5	1,3	7,5

Продовження таблиці Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AM180M2	30	2940	91	0,89	2,7	1,5	1,3	7,5
4AM200M2	37	2940	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7
4AM200L2	45	2940	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7
4AM225M2	55	2940	91	0,92	2,8	1,4	1,2	7,5
4AM250S2	75	2940	91	0,89	2,8	1,4	1,2	7,5
4AM250M2	90	2940	92	0,9	2,8	1,4	1,2	7,5
4AM280S2	110	2940	91	0,89	2,2	1,2	1	7
4AM280M2	132	2940	91,5	0,89	2,2	1,2	1	7
4AM315S2	160	2943	92	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM315M2	200	2943	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM355S2	250	2943	92,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM355M2	315	2940	93	0,91	1,9	1	0,9	7
Синхронна частота обертання 1500 об/хв								
4AAM56A4	0,12	1380	63	0,66	2,2	2	1,2	5
4AAM56B4	0,18	1370	64	0,64	2,2	2	1,2	5
4AAM63A4	0,25	1380	68	0,65	2,2	2	1,2	5
4AAM63B4	0,37	1365	68	0,69	2,2	2	1,2	5
4AM71A4	0,55	1370	70,5	0,7	2,2	2	1,6	4,5
4AM71B4	0,75	1370	72	0,73	2,2	2	1,6	4,5
4AM80A4	1,1	1340	75	0,81	2,2	2	1,6	5
4AM80B4	1,5	1340	77	0,83	2,2	2	1,6	5
4AM90L4	2,2	1420	80	83	2,2	2	1,6	6
4AM100S4	3	1420	82	0,83	2,2	2	1,6	6,5
4AM100L4	4	1420	84	0,84	2,2	2	1,6	6
4AM112M4	5,5	1425	85,5	0,86	2,2	2	1,6	7
4AM132S4	7,5	1455	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5

Продовження таблиці Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AM132M4	11	1458	87,5	0,86	2,2	2	1,6	7,5
4AM160S4	15	1463	89	0,88	2,6	11,6	1,3	7,5
4AM160M4	18,5	1470	90	0,88	2,6	1,6	1,3	7,5
4AM180S4	22	1470	90,5	0,89	2,5	1,6	1,3	6,5
4AM180M4	30	1470	91	0,89	2,5	1,5	1,3	6,5
4AM200M4	37	1470	91,5	0,89	2,4	1,5	1,2	6,5
4AM200L4	45	1470	92	0,89	2,4	1,5	1,2	6,5
4AM225M4	55	1470	92,5	0,89	2,2	1,4	1,2	6,5
4AM250S4	75	1479	93	0,9	2,2	1,3	1,2	6,5
4AM250M4	90	1480	93	0,91	2,2	1,3	1,2	6,5
4AM280S4	110	1465	92,5	0,9	2	1,2	1	7
4AM280M4	132	1465	93	0,9	2	1,2	1	6,5
4AM315S4	160	1470	93,5	0,91	1,9	1	0,9	7
4AM315M4	200	1475	94	0,92	1,9	1	0,9	7
4AM355S4	250	1458	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
4AM355M4	315	1463	94,5	0,92	1,9	1	0,9	7
Синхронна частота обертання 1000 об/хв								
4AAM63A6	0,18	885	56	0,62	2,2	2	1,2	4
4AAM63B6	0,25	892	59	0,62	2,2	2	1,2	4
4AM71A6	0,37	920	64,5	0,69	2,2	2	1,6	4
4AM71B6	0,55	920	67,5	0,71	2,2	2	1,6	4
4AM80A6	0,75	920	69	0,74	2,2	2	1,6	4
4AM80B6	1,1	920	74	0,74	2,2	2	1,6	4
4AM90L6	1,5	936	75	0,74	2,2	2	1,6	5,5
4AM100L6	2,2	950	81	0,73	2,2	2	1,6	5,5
4AM112MA6	3	945	81	0,76	2,2	2	1,6	6

Продовження таблиці Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AM112MB6	4	950	82	0,81	2,2	2	1,6	6
4AM132S6	5,5	960	85	0,8	2,2	2	1,6	7
4AM132M6	7,5	970	85,5	0,81	2,2	2	1,6	7
4AM160S6	11	975	86,5	0,82	2,5	1,5	1,3	6,5
4AM160M6	15	975	88	0,82	2,5	1,5	1,3	6,5
4AM180M6	18,5	975	88	0,85	2	1,5	1,3	6,5
4AM200M6	22	980	90	0,86	2,3	1,5	1,3	6,5
4AM200L6	30	980	90,5	0,86	2,3	1,5	1,3	6,5
4AM225M6	37	980	91	0,86	2	1,5	1,2	6,5
4AM250S6	45	985	91,5	0,85	2	1,3	1,1	6,5
4AM250M6	55	985	92	0,85	2	1,3	1,1	6,5
4AM280S6	75	980	92	0,89	1,9	1,2	1	7
4AM280M6	90	980	92,5	0,89	1,9	1,2	1	7
4AM315S6	110	980	93	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM315M6	132	949	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM355S6	160	959	93,5	0,9	1,9	1	0,9	7
4AM355M6	200	970	94	0,9	1,9	1	0,9	7
Синхронна частота обертання 750 об/хв								
4AM71B8	0,25	675	58	0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4AM80A8	0,37	675	62	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4AM80B8	0,55	675	64	0,65	1,7	1,6	1,2	3,5
4AM90LA8	0,75	697	70	0,66	1,7	1,6	1,2	3,5
4AM90LB8	1,1	697	72	0,7	1,7	1,6	1,2	3,5
4AM100L8	1,5	675	76	0,73	1,7	1,6	1,2	5,5
4AM112MA8	2,2	705	76,5	0,71	2,2	1,8	1,4	6
4AM112MB8	3	700	79	0,74	2,2	1,8	1,4	6

Продовження таблиці Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4AM132S8	4	720	83	0,7	2,2	1,8	1,4	6
4AM132M8	5,5	716	83	0,74	2,2	2	1,4	6
4AM160S8	7,5	730	86	0,75	2,2	1,5	1,1	6
4AM160M8	11	730	87	0,75	2,2	1,5	1,1	6
4AM180M8	15	730	88	0,83	2,2	1,4	1,1	5,5
4AM200M8	18,5	735	88,5	0,8	2,2	1,4	1,1	5,5
4AM200L8	22	735	88,5	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM225M8	30	735	90	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM250S8	37	739	90,5	0,8	2	1,4	1,1	5,5
4AM250M8	45	739	91,5	0,8	2	11,3	1,1	5,5
4AM280S8	55	733	92	0,84	1,9	1,2	1	6,5
4AM280M8	75	734	92,5	0,85	1,9	1,2	1	6,5
4AM315S8	90	735	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4AM315M8	110	720	93	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4AM355S8	132	716	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
4AM355M8	160	730	93,5	0,85	1,9	1	0,9	6,5
Синхронна частота обертання 600 об/хв								
4AM250S10	30	589	88,5	0,8	1,9	1,2	1	6
4AM250M10	37	589	89	0,8	1,9	1,2	1	6
4AM280S10	37	588	91	0,78	1,8	1	1	6
4AM280M10	45	588	91,5	0,78	1,8	1	1	6
4AM315S10	55	588	92	0,79	1,8	1	0,9	6
4AM315M10	75	588	92	0,8	1,8	1	0,9	6
4AM355S10	90	588	92,5	0,83	1,8	1	0,9	6
4AM355M10	110	588	93	0,83	1,8	1	0,9	6

Продовження таблиці Г

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронна частота обертання 500 об/хв								
4AM315S12	45	487	90,5	0,75	1,8	1	0,9	6
4AM315M12	55	487	91	0,75	1,8	1	0,9	6
4AM355S12	75	490	91,5	0,76	1,8	1	0,9	6
4AM355M12	90	490	92	0,76	1,8	1	0,9	6

Додаток Д

Таблиця Д

Технічні характеристики двигунів серії АІР

Марка	Номинальна потужність, кВт	Номинальна швидкість обертання, об/хв	Номинальний струм, А	Номинальний ККД, %	$\cos \varphi$	Кратність пускового струму $I_{\text{пуск}}/I_{\text{ном}}$	Кратність пускового моменту $M_{\text{пуск}}/M_{\text{ном}}$	Кратність максимального моменту $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	Момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Синхронна швидкість обертання 3000 об/хв										
АІР56А2	0,18	2700	0,55	65	0,77	5	2,2	2,2	0,00042	3,5
АІР56В2	0,25	2730	0,73	66	0,78	5	2,2	2,2	0,00047	3,8
АІР63А2	0,37	2730	0,9	72	0,84	5	2,2	2,2	0,00046	5,2
АІР63В2	0,55	2730	1,3	75	0,81	5	2,2	2,2	0,0009	6,1
АІР71А2	0,75	2820	1,3	79	0,8	6	2,6	2,7	0,00097	8,7
АІР71В2	1,1	2810	2,6	79,5	0,8	6	2,2	2,4	0,0011	9,5
АІР80А2	1,5	2880	3,2	82	0,85	6,5	2,2	2,6	0,0015	13,3
АІР80В2	2,2	2880	4,6	83	0,87	6,4	2,1	2,6	0,0018	15
АІР90L2	3	2870	6,1	84,5	0,88	7,0	2,3	2,6	0,0024	20,6
АІР100S2	4	2850	8,7	87	0,88	7,5	2,0	2,4	0,0070	30
АІР100L2	5,5	2850	11	88	0,88	7,5	2,1	2,4	0,0080	32
АІР112M2	7,5	2890	15	87	0,91	7,5	2,2	2,5	0,0185	48
АІР132M2	11	2910	21,1	88,0	0,90	7,5	1,6	2,0	0,0227	78
АІР160S2	15	2930	30	88,0	0,86	7,5	2,1	3,0	0,0500	116
АІР160M2	18,5	2930	35	90,0	0,88	7,5	2,0	2,3	0,0550	130
АІР 180S2	22	2940	41	90,0	0,90	7,5	2,0	2,3	0,0620	150

Продовження таблиці Д

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР180М2	30	2950	55,4	91,4	0,90	7,5	2,0	2,3	0,0700	170
АИР200М2	37	2950	70	91,5	0,88	7,5	2,0	2,3	0,1400	230
АИР200L2	45	2960	84	92,0	0,88	7,5	2,0	2,3	0,1600	255
АИР225М2	55	2970	100	93	0,90	7,5	2,0	2,3	0,2000	320
АИР250S2	75	2975	134,6	93	0,91	7,0	2,0	2,3	0,3500	425
АИР250М2	90	2975	160	93	0,91	7,5	2,0	2,3	0,4000	455
АИР280S2	110	2975	198	93,7	0,9	7,2	1,8	2,2	0,6000	590
АИР280М2	132	2975	235	94	0,9	8,5	1,8	2,2	0,7000	620
Синхронна швидкість обертання 1500 об/хв										
АИР56А4	0,12	1350	0,5	57	0,66	5	2,2	2,2	0,00070	3,6
АИР56В4	0,18	1350	0,7	60	0,68	5	2,2	2,2	0,00080	4,2
АИР63А4	0,25	1350	0,9	65	0,67	5	2,2	2,2	0,0012	5,1
АИР63В4	0,37	1350	1,2	68	0,70	5	2,2	2,2	0,0014	6,0
АИР71А4	0,55	1360	1,7	71	0,71	5	2,3	2,4	0,0013	8,1
АИР71В4	0,75	1350	1,9	72	0,75	5	2,5	2,6	0,0015	9,4
АИР80А4	1,1	1410	2,7	76,5	0,77	5,0	2,2	2,4	0,0034	12,8
АИР80В4	1,5	1410	3,6	78,5	0,80	5,3	2,2	2,4	0,0042	14,7
АИР90L4	2,2	1420	5,2	81,0	0,83	6,0	2,0	2,6	0,0056	19,7
АИР100S4	3	1410	7,3	82	0,82	7	2,0	2,2	0,0100	34
АИР100L4	4	1410	9	85	0,84	7,0	2,1	2,4	0,0130	29
АИР112М4	5,5	1440	12,1	85	0,84	6,0	2,2	2,6	0,0236	45
АИР132S4	7,5	1455	15,6	87,5	0,83	7,0	2,0	2,5	0,0227	70
АИР132М4	11	1450	22,2	88,5	0,85	7,5	2,4	2,9	0,0349	84
АИР160S4	15	1450	30	89,0	0,85	7,5	2,2	2,3	0,0600	120
АИР160М4	18,5	1460	36	90,0	0,86	7,0	2,2	2,3	0,0650	142
АИР 180S4	22	1470	43	90,0	0,86	7,5	2,2	2,3	0,0700	160

Продовження таблиці Д

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР180М4	30	1470	57,6	91,4	0,86	7,2	2,2	2,3	0,0800	190
АИР200М4	37	1470	70	92,0	0,87	7,2	2,2	2,3	0,1500	230
АИР200L4	45	1475	84,9	92,5	0,87	7,2	2,2	2,3	0,1800	260
АИР225М4	55	1480	103	93	0,87	7,2	2,2	2,3	0,2000	325
АИР250S4	75	1480	137,8	94	0,88	6,8	2,2	2,3	0,3500	450
АИР250М4	90	1480	163	94	0,89	7,5	2,2	2,3	0,4000	480
АИР280S4	110	1480	196	95,3	0,87	6,5	2,1	2,2	0,6000	790
АИР280М4	132	1480	230	95,5	0,88	6,5	2,1	2,2	0,7000	885
АИР315S4	160	1480	286	94,5	0,91	6,9	2,1	2,2	2,7000	1000
Синхронна швидкість обертання 1000 об/хв										
АИР63А6	0,18	860	0,8	56	0,62	4	2,2	2,2	0,0018	4,8
АИР63В6	0,25	860	1,0	59	0,62	4	2,2	2,2	0,0022	5,6
АИР71А6	0,37	900	1,4	65	0,63	4,5	2,1	2,2	0,0017	8,6
АИР71В6	0,55	920	1,8	69	0,68	4,5	1,9	2,2	0,0020	9,9
АИР80А6	0,75	920	2,3	71	0,71	4,0	2,1	2,2	0,0040	12,5
АИР80В6	1,1	920	3,2	75	0,74	4,5	2,2	2,3	0,0049	16,2
АИР90L6	1,5	935	4,2	76,0	0,75	5,0	2,0	2,3	0,0066	20,6
АИР100L6	2,2	940	5,4	81,5	0,74	6,0	1,9	2,2	0,0200	27
АИР112М6	3	950	7,4	81	0,76	6,0	2,1	2,4	0,0380	43
АИР112М6	4	950	9,2	82	0,81	6,0	2,2	2,3	0,0425	48
АИР132S6	5,5	950	12,2	83,0	0,82	5,5	2,2	2,5	0,0500	69
АИР132М6	7,5	950	16,5	85,5	0,81	7,0	2,0	2,2	0,0597	82
АИР160S6	11	970	24,5	87,5	0,78	6,5	2,0	2,1	0,0700	125
АИР160М6	15	970	31	89,0	0,81	7,0	2,0	2,1	0,0750	150
АИР180М6	18,5	980	39	90,0	0,81	7,0	2,1	2,1	0,0900	160
АИР200М6	22	980	46	88,0	0,83	7,0	2,0	2,1	0,2000	195

Продовження таблиці Д

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР200L6	30	980	59,6	90,0	0,84	7,0	2,0	2,1	0,2500	225
АИР225M6	37	980	71	92	0,86	7,0	2,1	2,1	0,8250	360
АИР250S6	45	980	87	92,5	0,85	7,0	2,1	2,0	1,2800	390
АИР250M6	55	980	105	92,5	0,86	6,5	2,1	2,0	1,4800	430
АИР280S6	75	985	137	94,5	0,86	6,5	2,0	2,0	2,6300	745
АИР280M6	90	985	164	94,5	0,86	6,5	2,0	2,0	3,3300	780
АИР315S6	110	985	200	93,5	0,9	6,7	2,0	2,0	3,6000	880
Синхронна швидкість обертання 750 об/хв										
АИР80A8	0,37	700	1,5	63,5	0,59	3,5	2,0	2,3	0,0030	14,7
АИР80B8	0,55	700	2,1	65	0,60	3,5	2,2	2,1	0,0038	15,9
АИР100L8	1,5	700	4,1	76,5	0,70	3,7	1,6	2,0	0,0123	26
АИР112M8	2,2	710	6,1	76	0,71	6,0	1,8	2,3	0,0221	43
АИР112M8	3	710	7,8	79	0,74	6,0	1,9	2,3	0,0288	48
АИР132S8	4	700	10,5	83,0	0,70	6	1,8	2,2	0,0690	69
АИР132M8	5,5	700	13,6	83,0	0,74	6,0	1,8	2,2	0,0935	82
АИР160S8	7,5	720	18	85,0	0,73	6,0	1,9	2,0	0,0800	125
АИР160M8	11	730	26	87,0	0,75	6,5	2,0	2,0	0,0850	150
АИР180M8	15	730	34	88,0	0,76	6,6	2,0	2,0	0,1000	172
АИР200M8	18,5	730	41	88,0	0,76	6,6	1,9	2,0	0,3000	210
АИР200L8	22	730	48,9	90,0	0,78	6,6	1,9	2,0	0,3500	225
АИР225M8	30	735	63	91	0,79	6,5	1,9	2,0	0,8250	360
АИР250S8	37	740	77,9	92,5	0,78	6,6	1,9	2,0	1,3500	400
АИР250M8	45	735	93,6	92,5	0,79	6,0	1,9	2,0	1,5500	430
АИР280S8	55	740	106	93,9	0,85	6,0	1,8	2,0	2,6300	725
АИР280M8	75	740	141	93,8	0,84	6,0	1,8	2,0	3,3300	790
АИР315S8	90	740	173	93,5	0,85	6,4	1,8	2,0	3,6000	880

Додаток Е

Технічні характеристики кранових двигунів серій МТФ, МТН, МТКН, АМТФ, 4МТМ, 4МТКМ

Таблиця Е

Технічні характеристики двигунів кранових серій

Марка	Потужність при $T_B=40\%$, кВт	Частота обертання, об/хв	ККД, %	$\cos \varphi$	Кратність максимального моменту $M_{\max}/M_{\text{ном}}$	Номінальний струм, А	Клас нагрівостійкості	Маса для ІМ1001,1003, кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронна швидкість обертання 1000 об/хв								
МТКН 011-6	1,4	920	70,5	0,67	2,8	4,5	Н	45,5
МТНФ 011-6	1,4	890	65	0,67	2,6	4,9	Н	60
ДМТКФ 011-6	1,4	875	70,5	0,67	2,8	5,2	F	47
ДМТФ 011-6	1,4	880	89	0,66	2,5	5,2	F	56
ДМТКФ 012-6	2,2	820	73,5	0,7	2,8	7,2	F	54
МТКН 012-6	2,2	915	73,5	0,7	2,8	6,5	Н	49,5
ДМТФ 012-6	2,2	895	87	0,68	2,3	7,5	F	63
МТН 012-6	2,2	895	70	0,69	2,7	6,9	Н	68
ДМТКН 111-6	3	910	68	0,7	2,7	9,5	Н	78
ДМТН 111-6	3	890	88	-	2,5	18,2	Н	92
ДМТКФ 111-6	3,5	900	72	0,79	2,7	9,9	F	78
ДМТФ 111-6	3,5	900	86	-	2,2	18,7	F	92
МТН 111-6	3,5	900	75	0,73	2,3	9,7	Н	91
МТКН 111-6	3,5	865	74,5	0,8	2,75	8,9	Н	77

Продовження таблиці Е

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ДМТКН 112-6	4,5	900	71,5	0,75	4,1	12,7	Н	92
АМТН 132 М6	4,5	925	87	-	2,3	12,9	Н	123
ДМТН 112-6	4,5	900	88	-	2,4	24	Н	110
АМТКН 132 М6	4,5	905	87	-	2,3	11,7	Н	103
ДМТКФ 112-6	5	910	74	0,74	3,2	14	Ф	92
МТКН 112-6	5	890	76	0,78	3,35	12,8	Н	85
МТН 112-6	5	930	79	0,7	2,7	13,7	Н	101
ДМТЕ 112-6	5	925	87	-	2,6	25,4	Ф	110
АМТФ 132 М6	5	905	87	-	2,2	11	Ф	120
МТН 160 М6	5	965	78	0,64	2,5	-	Н	138
АМТКФ 132 М6	5	905	87	-	2,1	12,6	Ф	103
АМТКН 132 L6	7	900	87	-	2,3	18,5	Н	120
МТКН 160 М6	7	905	78	0,77	3,5	-	Н	131
АМТН 132 L6	7	925	87	-	2,4	19,1	Н	140
МТН 160 М6	7	930	81	0,69	3,0	-	Н	138
МТН 211-6	7	945	87	-	2,7	16	Н	-
МТКФ 132 L6	7,5	905	87	-	1,4	18,5	Ф	120
АМТФ 132 L6	7,5	900	87	-	2,2	16	Ф	140
МТКИ 160 L6	10	915	83	0,76	4	-	Н	159
МТН 160 L6	10	950	84	0,69	3,5	-	Н	166
МТКФ 311-6	11	910	77,5	0,76	2,9	28,5	Ф	155
МТКН 311-6	11	915	81	0,77	2,9	26,7	Н	185
МТФ 311-6	11	945	80	0,71	3	29,3	Ф	220
МТН 311-6	11	940	80	0,71	3,0	29,3	Н	220
МТФ 312-6	15	955	82	0,74	3	37,5	Ф	240
МТН 312-6	15	950	82	0,74	3	37,5	Н	240

Продовження таблиці Е

1	2	3	4	5	6	7	8	9
МТКН 312-6	15	925	83	0,78	3,2	35	Н	205
МТКФ 312-6	15	930	81	0,78	3,2	36	Ф	195
МТФ 411-6	22	965	86	0,76	2,8	51	Ф	280
МТН 411-6	22	965	86	0,76	2,8	51	Н	280
4МТМ 200 LA6	22	960	86	0,76	2,8	51	Н	270
МТКФ 411-6	22	935	82,5	0,79	3,3	51	Ф	255
МТКН 411-6	22	935	82,5	0,79	3,3	51	Н	255
4МТКМ 200 LA6	22	935	87	0,80	3,3	48	Н	253
МТКФ 412-6	30	935	83,5	0,78	3,3	70	Ф	315
МТФ 412-6	30	970	87	0,79	2,8	55	Ф	345
МТН 412-6	30	970	87	0,79	2,8	55	Н	345
4МТМ 200 LB6	30	960	87	0,79	2,8	55	Н	300
МТКН 412-6	30	935	83,5	0,78	3,3	70	Н	315
4МТКМ 200 LB6	30	945	87,5	0,85	3,3	61	Н	279
4МТКМ 225 M6	37	930	85	0,86	3,0	77	Н	360
МТКН 511-6	37	930	85	0,86	3,0	77	Н	360
4МТМ 225 M6	37	955	87	0,81	3	80	Н	390
МТН 511-6	37	955	87	0,81	3	80	Н	390
4МТМ 225 L6	55	955	88	0,81	2,9	117	Н	490
МТН 512-6	55	955	88	0,81	2,9	117	Н	490
4МТКМ 225 L6	55	925	86	0,87	3,4	112	Н	460
МТКН 512-6	55	925	86	0,87	3,4	112	Н	460
4МТН 280 S6	75	955	89	0,86	3,2	180	Н	740
МТН 611-6	75	955	89	0,86	3,2	180	Н	740
4МТН 280 L6	110	970	91	0,85	3,5	168	Н	970
МТН 612-6	110	970	91	0,85	3,5	168	Н	970

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Синхронна швидкість обертання 750 об/хв								
МТКИ 160 М8	5	675	77	0,68	3	-	Н	131
МТКИ 160 L8	7	680	80	0,69	2,8	-	Н	159
МТН 160 L8	7	700	79	0,64	2,5	-	Н	166
МТФ 311-8	7,5	695	76	0,65	3	23,0	F	225
МТН 311-8	7,5	700	76	0,65	3	23,0	Н	225
МТКФ 311-8	7,5	690	73,5	0,71	2,7	21,8	F	155
МТКН 311-8	7,5	695	78,5	0,69	2,7	21	Н	185
МТКФ 312-8	11	700	78	0,74	2,9	29	F	195
МТФ 312-8	11	695	78,5	0,65	3	32,7	F	240
МТН 312-8	11	705	78,5	0,65	3	32,7	Н	240
МТКН 312-8	11	700	81,5	0,70	2,9	29,2	Н	205
МТКФ 411-8	15	695	80	0,71	3,2	40	F	255
МТКН 411-8	15	695	80	0,71	3,2	40	Н	255
4МТКМ 200 LA8	15	705	83	0,70	3,2	40	Н	260
МТФ 411-8	15	710	83	0,62	3,2	44	F	280
МТН 411-8	15	710	83	0,62	3,2	44	Н	280
4МТМ 200 LA8	15	720	83	0,62	3,2	44	Н	275
МТКФ 412-8	22	700	80,5	0,69	3,2	60	F	315
МТКН 412-8	22	700	80,5	0,69	3,2	60	Н	315
4МТКМ 200 LB8	22	700	83	0,75	3,2	54	Н	290
МТФ 412-8	22	720	83	0,7	3	58	F	315
МТН 412-8	22	720	83	0,7	3	58	Н	315
4МТМ 200 LB8	22	715	83	0,7	3	58	Н	305
4МТМ 225 М8	30	715	85	0,72	2,9	74	Н	390

Продовження таблиці Е

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4МТКМ 225 М8	30	700	84	0,75	2,8	72	Н	360
МТКН 511-8	30	700	84	0,75	2,8	72	Н	360
МТН 511-8	30	715	85	0,72	2,9	70	Н	390
4МТКМ 225 L8	37	700	85	0,78	2,8	85	Н	450
МТКН 512-8	37	700	85	0,78	2,8	85	Н	450
4МТМ 225 L8	37	725	86	0,74	2,9	76	Н	470
МТН 512-8	37	725	86	0,74	2,9	76	Н	470
4МТН 280 М8	75	720	90	0,81	3	188	Н	820
4МТН 280 L8	90	725	91	0,79	3,2	171	Н	980
4МТН 400 S8	132	750	92,3	0,80	-	271	Н	1230
4МТН 400 М8	160	750	93,3	0,79	-	266	Н	1380
4МТН 400 L8	200	750	93,5	0,80	-	271	Н	1480
Синхронна швидкість обертання 600 об/хв								
4МТН 280 М10	60	575	88	0,74	3,2	162	Н	825
МТН 612-10	60	575	88	0,74	3,2	162	Н	825
4МТН 280 L10	75	575	89	0,73	3	150	Н	975
МТН 613-10	75	575	89	0,73	3	150	Н	975
4МТН 400 S10	110	575	90,5	0,73	1,75	251	Н	1255
4МТН 400 М10	132	575	91,3	0,73	2,1	249	Н	1420
4МТН 400 L10	160	575	91,3	0,73	2,55	242	Н	1580

ЗМІСТ

Вступ	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО АСИНХРОННІ ДВИГУНИ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ПОТУЖНОСТЕЙ І ПРИЄДНУВАЛЬНИХ РОЗМІРІВ	4
1.1. Теоретичні основи роботи асинхронного двигуна	4
1.2. Основні технічні характеристики асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором	13
1.2.1. Асинхронні двигуни серії 4АМ	13
1.2.2. Асинхронні двигуни серії АІ	15
1.2.3. Асинхронні двигуни кранових серій	17
1.3. Діапазони напруг, потужностей і частот обертання	18
1.4. Виконання електродвигунів за ступенем захисту	19
1.5. Елементи конструкцій електродвигунів	20
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	24
2.1. Загальні положення	24
2.2. Втрати активної потужності в електродвигуні	26
2.3. Нагрівання та охолодження електродвигуна	30
2.4. Основні конструктивні фактори, які впливають на потужність електродвигуна	33
2.5. Номінальні режими роботи електродвигунів	35
2.5.1. Тривалий номінальний режим (S1)	35
2.5.2. Короткочасний номінальний режим (S2)	36
2.5.3. Повторно-короткочасний номінальний режим (S3)	36
2.5.4. Номінальні режими S4-S8	38
2.6. Навантажувальні діаграми електроприводів	38
2.7. Розрахунок потужності електродвигуна при тривалому режимі роботи S1 й незмінному навантаженні	41
2.8. Розрахунок потужності двигуна при тривалому режимі роботи S1 й змінному циклічному навантаженні	43
2.8.1. Метод середніх втрат	45
2.8.2. Метод еквівалентного струму	48
2.8.3. Методи еквівалентного моменту та потужності	49
2.9. Визначення допустимої частоти вмикань асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	52
Список використаних джерел	55
Додатки	56