

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

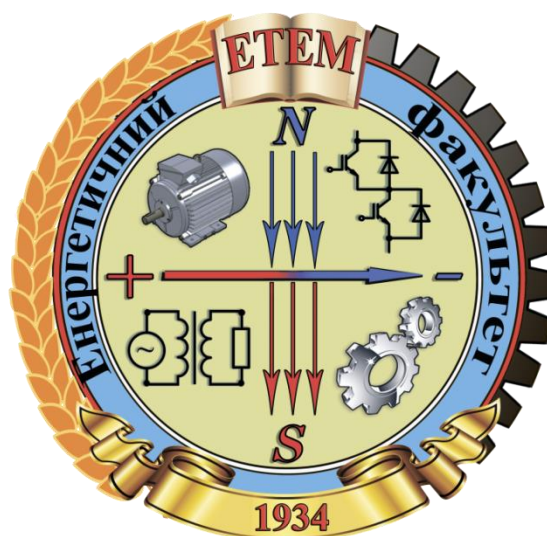
Кафедра “Електротехніка і електромеханіка
ім. професора В.В. Овчарова”

ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розрахунок і вибір потужності електродвигуна
для повторно-короткочасного режиму роботи

для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр»



Мелітополь, 2018

УДК 621.3(075)

Дипломне проектування зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Методичні рекомендації. «Розрахунок і вибір потужності електродвигуна для повторно-короткочасного режиму роботи» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 13 с.

Розробники: к.т.н., доцент Квітка С.О.,
к.т.н., доцент Постнікова М.В.
асистент Речина О.М.

Рецензенти: д.т.н., професор Назаренко Ігор Петрович
Таврійський державний агротехнологічний університет

Розглянуто на засіданні кафедри електротехніки і електромеханіки імені професора В.В. Овчарова

Протокол №6 від «26» грудня 2018 р.

Затверджено методичною комісією енергетичного факультету ТДАТУ

Протокол №4 від «26» грудня 2018 р.

© Квітка С.О.
Постнікова М.В.
Речина О.М.

ЗМІСТ

Вступ	4
Методичні рекомендації	5
1.1 Визначення розрахункової потужності механізмів повторно-короткочасного режиму роботи	5
1.2 Методика вибору електродвигунів спеціального призначення	6
1.3 Методика вибору електродвигунів загального призначення для роботи у повторно-короткочасному режимі.	7
1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для повторно-короткочасного режиму роботи	8
Список літератури	13

ВСТУП

Науково-технічний прогрес сприяє кількісним і якісним змінам в електротехнічному обладнанні. У зв'язку з постійною розробкою нових видів електросилового обладнання, засобів автоматизації, комутаційної та захисної апаратури виникає необхідність у підготовці кваліфікованих кадрів, які повинні мати глибокі теоретичні знання та вміння творчо використовувати їх у практичній діяльності. В цьому сенсі, значну роль при підготовці молодих фахівців відіграє дипломне проектування систем електрифікації технологічних процесів виробництва.

Завдання розділу дипломного проектування «Вибір і перевірка силового електрообладнання» – формування вміння творчого підходу до вирішування завдань проектування, експлуатації і раціонального використання електроприводів виробничих машин та агрегатів, володіння методами інженерного розрахунку потужності електродвигунів призначених для основних режимів роботи.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1.1 Визначення розрахункової потужності механізмів повторно-короткочасного режиму роботи

Повторно-короткочасний номінальний режим S3 – це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів роботи з постійним навантаженням і вимкненого нерухомого стану, причому тривалість періодів роботи і пауз настільки малі, що за час роботи електродвигун не встигає нагрітися до практично усталеної температури, а за час паузи не встигає охолонути до температури охолоджуючого середовища. Тривалість одного робочого циклу приймається не більше 10 хв [1].

Для роботи у повторно-короткочасному режимі виготовляють спеціальні електродвигуни, які порівняно із двигунами загального призначення мають збільшені пускові та максимальні моменти, зменшену інерційність роторів та інші особливості. Як відомо, момент інерції тіла обертання пропорційний четвертому ступеню його діаметра і першому ступеню довжини. Тому для зниження втрат енергії при частих пусках і гальмуваннях двигуни краново-металургійних серій і тягові виготовляють з видовженими роторами (якорями) зменшеного діаметра. З метою більш рівномірного перерозподілу втрат між ротором і статором обмотки роторів асинхронних короткозамкнених електродвигунів мають підвищений опір.

Крім загальних даних, на паспортах таких електродвигунів вказується номінальна відносна тривалість вмикання їх в електромережу $TB_n = 15, 25, 40, 60 \%$.

Номінальні дані двигунів, призначених для повторно-короткочасного режиму, в каталогах наводяться при стандартних тривалостях вмикання. Тривалість циклу не повинна перевищувати 10 хвилин. Основним режимом S3 сучасних двигунів є режим при $TB = 40 \%$.

В повторно-короткочасному режимі роботи працюють тельфера та кран-балки.

Приведений момент опору або зусиль здійснюється із умови рівності потужності на валу електродвигуна тельфера визначається

$$M_o = \frac{F \cdot v}{\omega_d \cdot \eta} \quad (1)$$

де M_o – момент опору приведений до валу електродвигуна, Н·м;
 F – зусилля в робочому органі машини, яке здійснює поступальний рух, Н;
 ω_d – кутова швидкість вала електродвигуна рад/с;
 η – ККД передачі, прийнятий за довідниковими даними.

Зусилля переміщення кран-балки (тельфера) по направляючим визначається за формулою

$$F = \frac{2(m + m_b)g}{D} \left(f + \mu \frac{d}{2} k \right) \alpha k \quad (2)$$

де m – маса тельфера (балки), кг;
 m_b – маса корисного вантажу, кг;
 D, d – діаметр тельфера (балки) і діаметр цапф, м;
 f – коефіцієнт тертя котіння коліс балки, тельфера; $f_0=0,05$; $f_1=0,03$ [1];
 α – коефіцієнт, що враховує додаткові опори в ребордах коліс, торцях колодок; $\alpha = 2,5$ [1];
 k – коефіцієнт; $k = 0,01$ [1].

Зусилля, необхідне для піднімання вантажу

$$F = (m_b + m_r)g \quad (3)$$

де m_r – маса гака, кг.

1.2 Методика вибору електродвигунів спеціального призначення

Фактична тривалість включення ЕД визначається

$$ТВ_\phi = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{t_y} \cdot 100\% \quad (4)$$

де t_y – тривалість циклу, с

Вибираємо найближче більше стандартне ТВ (15;25;40;60;100)

Якщо $ТВ_\phi = ТВ_{ст}$, то вибираємо за каталогом двигун з підвищеним ковзанням за умовою

$$P_n \geq P_{екв} \quad (5)$$

Якщо $T_{B\phi} \neq T_{Bст}$, то виконуємо перерахунок потужності двигуна за формулою

$$P_{роз} = P_{екв} \sqrt{\frac{T_{B\phi}}{T_{Bст}}} \quad (6)$$

Еквівалентна потужності визначаємо за формулою

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}} \quad (7)$$

За каталогом, вибираємо двигун спеціального виконання за умовою

$$P_n \geq P_{роз} \quad (8)$$

Вибраний двигун перевіряють за умовами пуску та на перевантажувальну здатність.

1.3 Методика вибору електродвигунів загального призначення для роботи у повторно-короткочасному режимі

Якщо вибирається двигун тривалого номінального режиму $S1$, то розрахункова потужність визначається за формулою

$$P_{роз} = P_{екв} \sqrt{T_{B\phi}} \quad (9)$$

За каталогом, вибираємо двигун основного виконання за умовою

$$P_n \geq P_{роз} \quad (10)$$

Вибраний двигун перевіряють за умовами пуску та на перевантажувальну здатність.

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску

$$M'_{п,дв} \geq M_{зр} \quad (11)$$

де $M'_{п,дв}$ - пусковий момент електродвигуна при зниженій напрузі, Н·м;

$M_{зр}$ - момент зрушення робочої машини, Н·м.

$$M'_{п,дв} = M_n \mu_p k_u^2 \quad (12)$$

де M_n - номінальний момент електродвигуна, Н·м;

μ_p - кратність пускового моменту електродвигуна;

k_u - коефіцієнт зниження напруги. Приймаємо $k_u = 0,9$ [1]

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (13)$$

де ω_H - номінальна кутова швидкість електродвигуна, рад/с.

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30}, \quad (14)$$

де n_H - номінальна частота обертання електродвигуна, хв⁻¹.

$$M_{зр} = (0,2 \dots 0,3) \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (15)$$

Перевіряємо електродвигун за умовами перевантаження

$$M'_{\text{макс,дв}} \geq M_{\text{о.макс,рм}}, \quad (16)$$

де $M'_{\text{макс,дв}}$ - максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі;

$M_{\text{о.макс,рм}}$ - максимальний момент опору робочої машини.

$$M_{\text{о.макс,рм}} = \frac{P_{\text{о.макс}}}{\omega_H}, \quad (17)$$

де $P_{\text{о.макс}}$ - максимальна потужність з навантажувальної діаграми, кВт;

ω_H – номінальна кутова швидкість, рад/с.

$$M'_{\text{макс,дв}} = M_H \cdot \mu_{\text{макс}} \cdot k_u^2 \quad (18)$$

1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для повторно-короткочасного режиму роботи

За вихідними даними будуюмо графік повторно-короткочасного навантаження механізму (рисунок 1). Вибираємо електродвигун спеціального та основного виконання. Частота обертання приводного валу робочої машини 1450 хв⁻¹. Електродвигун з'єднаний з механізмом безпосередньо.

$$\begin{aligned} P_1 &= 8 \text{ кВт}, & P_2 &= 14 \text{ кВт}, & P_3 &= 4 \text{ кВт}; \\ t_1 &= 48 \text{ с}; & t_2 &= 72 \text{ с}; & t_3 &= 36 \text{ с}; & t_{\text{ц}} &= 636 \text{ с}. \end{aligned}$$

Вибір електродвигуна спеціального виконання

Фактична тривалість включення визначається за формулою (4)

$$TB_{\phi} = \frac{48 + 72 + 36}{636} \cdot 100 \% = 24,5 \%$$

$$TB_{\phi} = 24,5 \% \neq TB_{cm} = 25 \%$$

Вибираємо стандартне $TB_{cm} = 25 \%$

Еквівалентна потужність двигуна визначається за формулою (7)

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{8^2 \cdot 48 + 14^2 \cdot 72 + 4^2 \cdot 36}{48 + 72 + 36}} = 10,6 \text{ кВт}$$

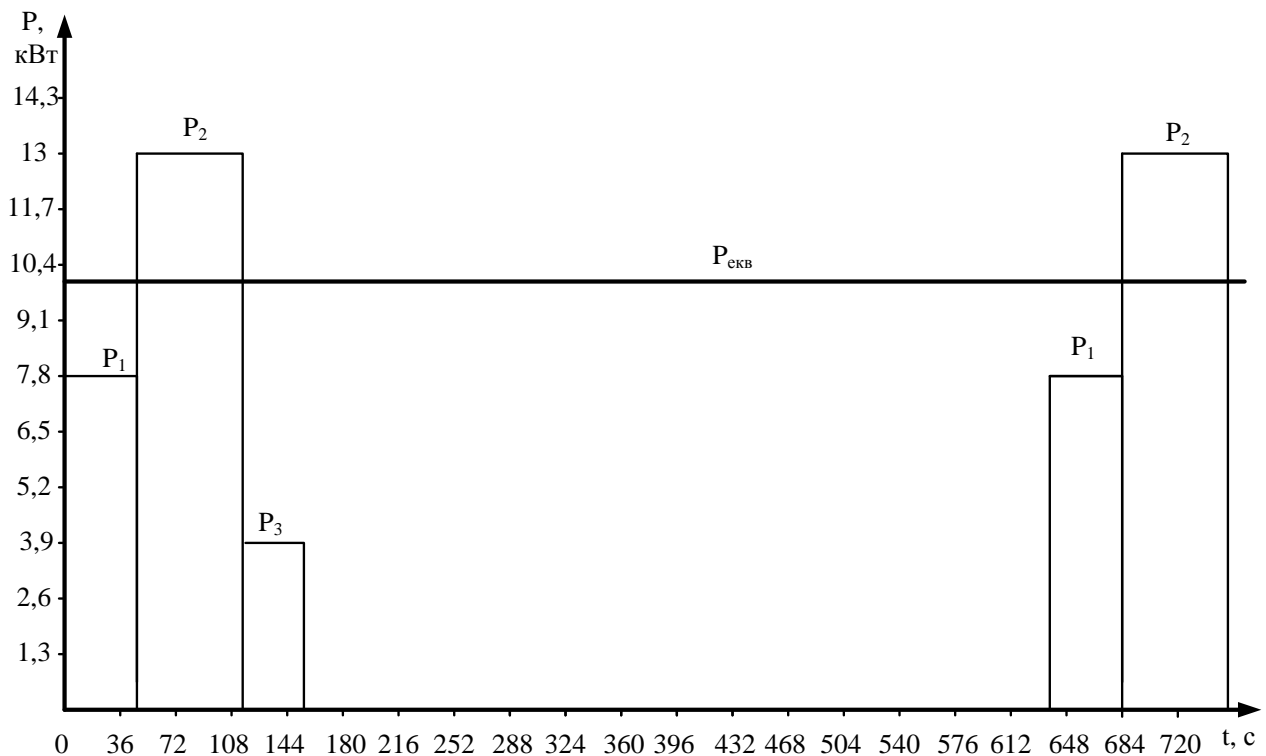


Рисунок 1 – Навантажувальна діаграма електродвигуна

Проводимо перерахунок еквівалентної потужності електродвигуна з рахунком вибраного стандартного значення TB за формулою (6)

$$P_{роз} = 10,6 \sqrt{\frac{24,5}{25}} = 10,5 \text{ кВт}$$

За каталогом попередньо вибираємо електродвигун за умовою (5)

$$P_n = 14 \text{ кВт} > P_{роз} = 10,5 \text{ кВт}$$

Каталожні дані двигуна [3]:

Тип АИРС132М4У3, $P_n = 14 \text{ кВт}$; $TB=25 \%$; $\cos \phi = 0,85$; $n_n = 1455 \text{ хв}^{-1}$; $\eta_n = 84\%$; $K_i = 6,5$; $\mu_n = 3,3$; $\mu_{мін} = 1,6$; $\mu_{мак} = 3,4$; $m = 83,5 \text{ кг}$.

Виконуємо перевірку електродвигуна за максимальним та пусковим моментом

Перевіряємо електродвигун за пусковим моментом за умовою (11).

Номинальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (14)

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 1455}{30} = 152,3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номинальний момент електродвигуна визначається за формулою (13)

$$M_H = \frac{14 \cdot 10^3}{152,3} = 91,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент електродвигуна визначається за формулою (12)

$$M'_{n.дв} = 91,9 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 163,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент зрушення робочої машини визначається за формулою (15)

$$M_{зр} = 0,25 \frac{14 \cdot 10^3}{152,3} = 22,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (11)

$$M'_{n.дв} = 163,8 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{зр} = 22,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Перевірка електродвигуна за умовами перевантаження здійснюється за умовою (16).

Максимальний момент опору робочої машини визначається за формулою (17)

$$M_{o.мак.рм} = \frac{14 \cdot 10^3}{152,3} = 91,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (18)

$$M'_{мак.дв} = 91,9 \cdot 3,4 \cdot 0,9^2 = 253 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (16)

$$M'_{мак.дв} = 253 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{o.мак.рм} = 91,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Вибір електродвигуна основного виконання

Вибираємо двигун тривалого режиму роботи S1, для цього визначаємо розрахункову потужність за формулою (9)

$$P_{роз} = 10,6\sqrt{0,245} = 5,24 \text{ кВт}$$

За каталогом [3] попередньо вибираємо електродвигун за умовою (10)

$$P_n = 5,5 \text{ кВт} > P_{роз} = 5,24 \text{ кВт}$$

Каталожні дані електродвигуна:

Тип 5AM112M4У3; $P_n = 5,5 \text{ кВт}$; $I_n = 11,7 \text{ А}$; $\cos \varphi = 0,83$; $n_n = 1440 \text{ хв}^{-1}$; $\eta_n = 83 \%$; $K_i = 6,7$; $\mu_n = 2,6$; $\mu_{мак} = 2,9$; $m = 48,5 \text{ кг}$.

Виконуємо перевірку електродвигуна за максимальним та пусковим моментом.

Перевіряємо електродвигун за пусковим моментом за умовою (11).

Номінальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (14)

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 1440}{30} = 150,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою (13)

$$M_n = \frac{5,5 \cdot 10^3}{150,7} = 36,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент електродвигуна визначається за формулою (12)

$$M'_{n.дв} = 36,5 \cdot 2,6 \cdot 0,9^2 = 76,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент зрушення робочої машини визначається за формулою (15)

$$M_{зр} = 0,25 \frac{5,5 \cdot 10^3}{150,7} = 9,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (11)

$$M'_{n.дв} = 76,8 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{зр} = 9,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Перевірка електродвигуна за умовами перевантаження здійснюється за умовою (16).

Максимальний момент опору робочої машини визначається за формулою (17)

$$M_{o.мак.рм} = \frac{14 \cdot 10^3}{150,7} = 92,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (18)

$$M'_{мак.дв} = 36,5 \cdot 2,9 \cdot 0,9^2 = 85,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (16)

$$M'_{мак.дв} = 85,7 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{o.мак.рм} = 92,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова не виконується, вибираємо двигун більшої потужності.

Каталожні дані електродвигуна:

Тип 5AMX132S4У3; $P_n = 7,5$ кВт; $I_n = 15,3$ А; $\cos \varphi = 0,85$; $n_n = 1450$ хв⁻¹; $\eta_n = 85$ %; $K_i = 7,0$; $\mu_n = 2,1$; $\mu_{мак} = 2,8$; $m = 64$ кг.

Номінальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (14)

$$\omega_n = \frac{3,14 \cdot 1450}{30} = 151,7 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою (13)

$$M_n = \frac{7,5 \cdot 10^3}{151,7} = 49,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (18)

$$M'_{мак.дв} = 49,4 \cdot 2,8 \cdot 0,9^2 = 112 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (16)

$$M'_{мак.дв} = 112 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{o.мак.рм} = 92,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується, двигун обрано вірно.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Електропривод: підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко [та інш.]; за ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: «Ліра-К», 2009. – 504 с.
Олійник В.С. Практикум з електропривода / В.С. Олійник, О.С. Марченко, Є.П. Жулай, Ю.М. Лавріненко. – К.: Урожай, 1995. – 190 с.
2. Електропривод: посібник для виконання лабораторних та практичних занять / М.Л. Лисиченко, П.І. Савченко, О.К. Тищенко, В.В. Гузенко. – Х.: ХНТУСГ: Факт, 2012. – 270 с.
3. Назар'ян Г.Н. Технічні характеристики та якісні показники електричних двигунів. Довідниковий посібник / Г.Н. Назар'ян, Ю.М. Федюшко, О.В. Сотник, О.В. Ковальов // – Х: ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 201 с.
4. Електродвигуни асинхронні . Каталог. – Х.: «Торговий дім «Helz». 2009. – 44 с. – Режим доступу: www.td-helz.com.ua.
5. Двигуни електричні. Каталог. – Нова Каховка: ВАТ «ПІВДЕНЬ-ЕЛЕКТРОБУД», 2007. - 22 с. Режим доступу: www.td_uemz@ukr.net.
6. Електродвигуни. Каталог. – Нова Каховка: «Підприємство великих електричних машин», 2009. – 12 с. – Режим доступу: www.td@electromashina.com
7. Низковольтные двигатели. Каталог «Siemens». – К. ДП «Сименс Україна», 2009 – 110 с. – Режим доступу: www.siemens.ua/SD
8. Электродвигатели серии AP, ТУ 16-513.386-83. Каталог. К.: ВАТ «ЛБЮ-ТЕХ», 2008 – 32 с. – Режим доступу: www.lbu.com.ua
9. Технический каталог ОАО «Владимирский электромоторный завод». 2012. -114 с.