

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

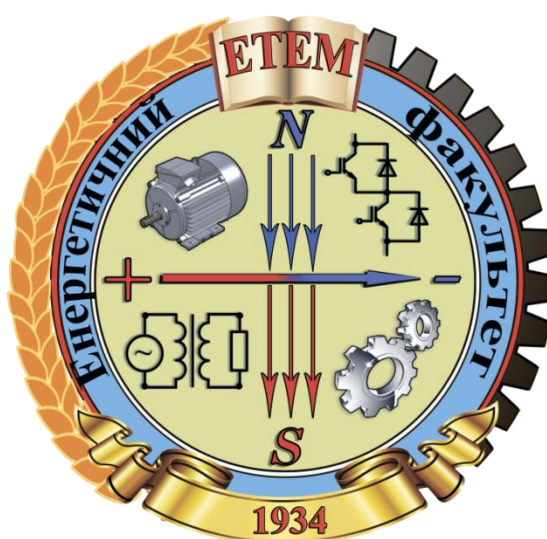
Кафедра “Електротехніка і електромеханіка
ім. професора В.В. Овчарова”

ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розрахунок і вибір потужності електродвигуна
для тривалого 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 тривалого 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 тривалого режиму роботи	5
1.2 Методика перевірки потужності попередньо вибраного електродвигуна методом середніх втрат потужності	6
1.3 Метод розрахунку потужності електродвигуна методом еквівалентної потужності	8
1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для тривалого режиму роботи	9
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 вміти 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 тривалого режиму роботи

Тривалий номінальний режим S1 – режим роботи електродвигуна при незмінному навантаженні, причому за час роботи перевищення температури усіх частин електродвигуна досягає устанавленого значення [1].

Прикладом механізмів з таким технологічним режимом можуть бути відцентрові насоси, компресорні і вентиляторні установки, конвеєри масою транспортованого матеріалу, зерноочисні машини, силосорізки, металорізальні верстати.

Потужності які, споживаються робочою машиною (РМ) при незмінному навантаженні, у багатьох випадках розраховується за формулами. Потужність, кВт, для приводу насосу визначають за формулою

$$P_{\text{нас}} = \frac{Q \cdot \rho \cdot H \cdot g \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{нас}}}, \quad (1)$$

де Q – подача насоса, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

ρ - густина рідини, що подається насосом, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

H - розрахунковий напір, м;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;

$\eta_{\text{нас}}$ - ККД насоса.

Потужність, кВт, для приводу вентилятора

$$P_{\text{вен}} = \frac{L \cdot p \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{вен}}}, \quad (2)$$

де L - подача вентилятора, $\frac{\text{м}^3}{\text{с}}$;

p - напір вентилятора, Па;

$\eta_{\text{вен}}$ - ККД вентилятора.

Потужність, яка споживається скребковим конвеєром при транспортуванні суцільним потоком

$$P_{c,кон} = Q \cdot g(L \cdot f_c \cdot \cos\alpha + H) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

де Q – розрахункова продуктивність конвеєра, $\frac{кг}{с}$;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \frac{м}{с^2}$;

H - висота підйому продукту, м;

L - довжина конвеєра, м;

f_c – коефіцієнт опору рухові;

α - кут нахилу конвеєра.

У тому випадку, якщо пусковий момент (момент зрушення) РМ дуже великий, необхідна перевірка вибраного двигуна за умовами пуску. Двигун успішно запуститься, якщо

$$M_{п} = M_{ном} \cdot \mu_{п} \geq (1,2 \dots 1,3)M_{о,зр}, \quad (4)$$

де $M_{п}$, $M_{ном}$ – відповідно пусковий і номінальний момент двигуна, Н·м;

$\mu_{п}$ - кратність пускового моменту;

$M_{о,зр}$ - момент зрушення, який приведений до валу двигуна РМ, Н·м.

Для приводу РМ з великим коефіцієнтом інерції необхідна також перевірка двигуна на нагрівання під час пуску. З цією метою визначають час пуску привода $t_{п}$ і порівнюють з допустимим часом пуску $t_{доп}$ за умовою

$$t_{п} \leq t_{доп}, \quad (5)$$

Для тривалого режиму роботи із змінним навантаженням вибір електродвигуна і перевірка попередньо вибраного двигуна проводиться двома методами:

- методом середніх втрат потужності;
- методом еквівалентних значень величин (струму, потужності або моменту).

1.2 Методика перевірки потужності попередньо вибраного електродвигуна методом середніх втрат потужності

Використовуючи навантажувальну діаграму РМ $P_{рм} = f(t)$ (рисунок 1) визначаємо середню потужність на валу електродвигуна

$$P_{\text{сер}} = \frac{\sum P_i t_i}{\sum t_i}, \quad (6)$$

де P_i - потужності, які споживаються електродвигуном на окремих ділянках, кВт;

t_i - час роботи електродвигуна на даній ділянці, с.

Потужність на валу електродвигуна

$$P_{\text{роз}} = K_3 \cdot P_{\text{сер}}, \quad (7)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу. Приймаємо $K_3 = 1,2$ [3].

За каталогом, попередньо вибираємо електродвигун за умовою

$$P_{\text{н}} \geq P_{\text{роз}} \quad (8)$$

Розраховуємо втрати:

- номінальні втрати

$$\Delta P_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}} - P_{\text{н}}, \quad (9)$$

де $P_{\text{н}}$ – номінальна потужності електродвигуна, кВт;

$\eta_{\text{н}}$ - номінальний коефіцієнт корисної дії двигуна, в.о.

- втрати на окремих ділянках графіку навантаження

$$\Delta P_i = \Delta P_{\text{н}} \frac{\alpha + K_i^2}{\alpha + 1}; \quad (10)$$

- середні втрати

$$\Delta P_{\text{сер}} = \frac{\sum \Delta P_i t_i}{\sum t_i}, \quad (11)$$

де ΔP_i - середні втрати потужності в електродвигуні на окремих ділянках, кВт.

Перевіряємо вибраний двигун за умовою

$$\Delta P_{\text{н}} \geq \Delta P_{\text{сер}}. \quad (12)$$

Вибраний двигун перевіряють за умовами пуску та перевантажувальній здатності.

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску

$$M'_{\text{п,дв}} \geq M_{\text{зр}}, \quad (13)$$

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

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

$$M'_{п,дв} = M_H \mu_{п} k_u^2, \quad (14)$$

де M_H - номінальний момент електродвигуна, Н·м;

$\mu_{п}$ - кратність пускового моменту електродвигуна;

k_u - коефіцієнт зниження напруги. Приймаємо $k_u = 0,9$ [3]

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (15)$$

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

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30}, \quad (16)$$

де n_H - номінальна частота обертання електродвигуна, хв^{-1} .

$$M_{зр} = (0,2 \dots 0,3) \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (17)$$

Перевіряємо електродвигун за умовами перевантаження

$$M'_{мак,дв} \geq M_{о,мак,рм}, \quad (18)$$

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

$M_{о,мак,рм}$ - максимальний момент опору робочої машини.

$$M_{о,мак,рм} = \frac{P_{о,мак}}{\omega_H}, \quad (19)$$

де $P_{о,мак}$ - максимальна потужність з навантажувальної діаграми, кВт;

ω_H - номінальна кутова швидкість, $\frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

$$M'_{мак,дв} = M_H \cdot \mu_{мак} \cdot k_u^2. \quad (20)$$

1.3 Метод розрахунку потужності електродвигуна методом еквівалентної потужності

При визначенні потужності двигуна методом еквівалентної потужності необхідно користуватися формулою

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}}. \quad (21)$$

За каталогом, попередньо вибираємо електродвигун за умовою

$$P_H \geq P_{екв}. \quad (22)$$

Електродвигун, що вибирається перевіряємо за пуском та

перевантаженням.

1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для тривалого режиму роботи

За вихідними даними будуємо графік довготривалого змінного навантаження механізму рисунок 1. Вибираємо електродвигун режиму S1 методом середніх втрат та еквівалентних величин. Частота обертання приводного валу робочої машини 1450 хв^{-1} . Електродвигун з'єднаний з механізмом безпосередньо.

$$\begin{aligned} P_1 &= 9 \text{ кВт}; & P_2 &= 14,4 \text{ кВт}; & P_3 &= 3 \text{ кВт}; & P_4 &= 12 \text{ кВт}; \\ t_1 &= 180 \text{ с}; & t_2 &= 234 \text{ с}; & t_3 &= 657 \text{ с}; & t_4 &= 189 \text{ с}. \end{aligned}$$

Розрахунок потужності електродвигуна методом середніх втрат

Середня потужність на валу електродвигуна визначається за формулою (6)

$$P_{\text{сеп}} = \frac{9 \cdot 180 + 14,4 \cdot 234 + 3 \cdot 657 + 12 \cdot 189}{180 + 234 + 657 + 189} = 7,32 \text{ кВт}.$$

Потужність, що споживається на валу електродвигуна визначається за формулою (7)

$$P_{\text{роз}} = 1,2 \cdot 7,32 = 8,78 \text{ кВт}.$$

По каталогу [9] попередньо вибираємо електродвигун за умовою (8)

$$P_n = 11 \text{ кВт} > P_{\text{роз}} = 8,78 \text{ кВт}.$$

Каталожні дані двигуна:

Тип 5AMX132M4Y3; $P_n = 11 \text{ кВт}$; $n_n = 1455 \text{ хв}^{-1}$; $I_n = 22,1 \text{ А}$; $\eta_n = 72,2 \%$;
 $\cos\varphi_n = 0,85$; $K_i = 7,3$; $\mu_n = 2,2$; $\mu_{\text{мак}} = 3,0$.

Номінальні втрати електродвигуна визначається за формулою (9)

$$\Delta P_n = \frac{11}{0,722} - 11 = 4,24 \text{ кВт}.$$

Втрати на окремих ділянках графіку навантаження визначаються за формулою (10)

$$\Delta P_1 = 4,24 \frac{0,5 + \left(\frac{9}{11}\right)^2}{0,5 + 1} = 3,31 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_2 = 4,24 \frac{0,5 + \left(\frac{14,4}{11}\right)^2}{0,5 + 1} = 6,26 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_3 = 4,24 \frac{0,5 + \left(\frac{3}{11}\right)^2}{0,5 + 1} = 1,62 \text{ кВт},$$

$$\Delta P_4 = 4,24 \frac{0,5 + \left(\frac{12}{11}\right)^2}{0,5 + 1} = 4,78 \text{ кВт},$$

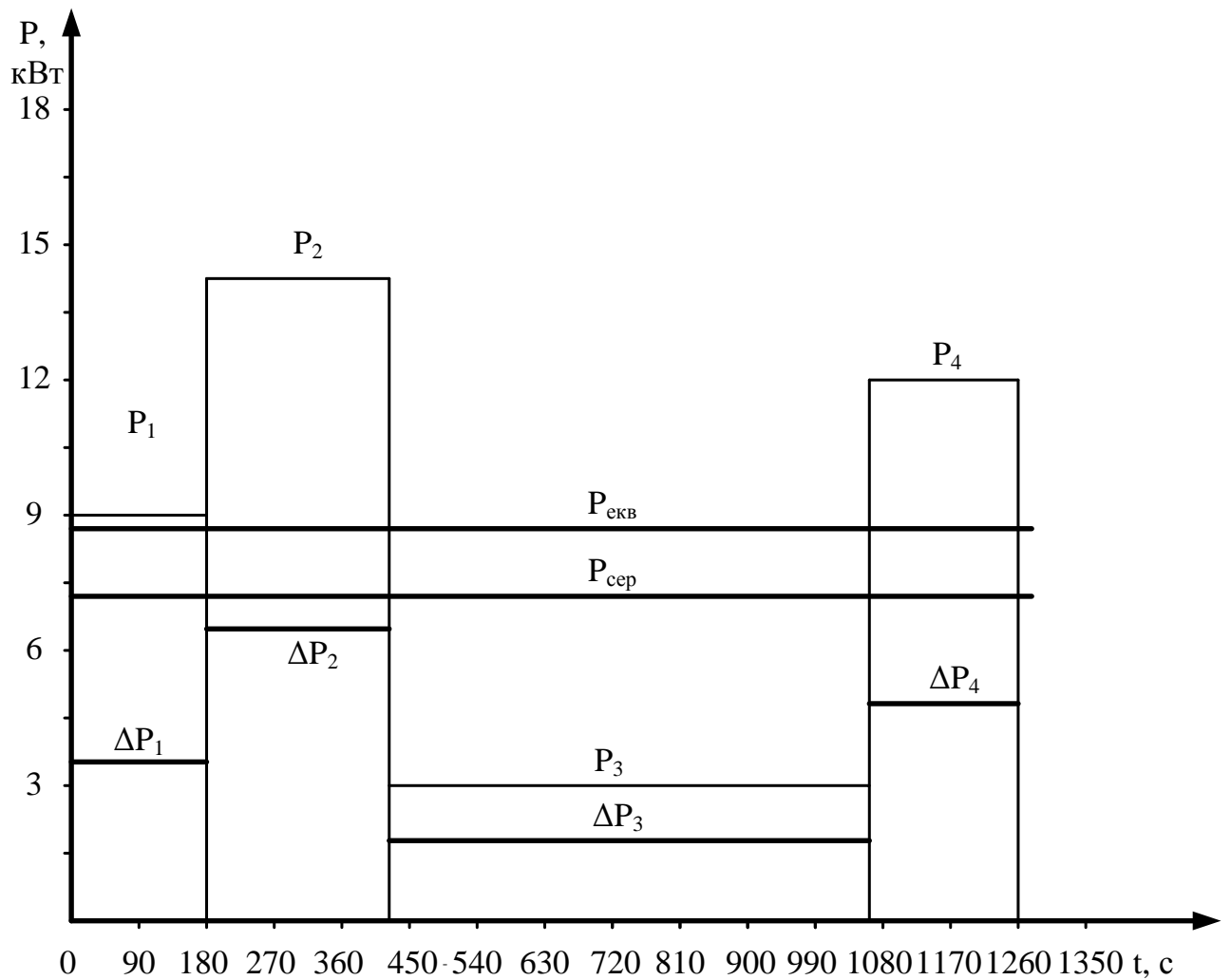


Рисунок 1 – Навантажувальна діаграма електродвигуна

Середні втрати в електродвигуні визначаються за формулою (11)

$$\Delta P_{сер} = \frac{3,31 \cdot 180 + 6,26 \cdot 234 + 1,62 \cdot 657 + 4,78 \cdot 189}{180 + 234 + 657 + 189} = 3,2 \text{ кВт}.$$

Перевіряємо вибраний двигун за умовою (12).

$$\Delta P_n = 3,46 \text{ кВт} > \Delta P_{сер} = 3,2 \text{ кВт}.$$

Умова виконується.

Виконуємо перевірки електродвигуна за максимальним та пусковим моментом

Перевіряємо електродвигун за пусковим моментом за умовою (13)

$$M'_{п.дв} \geq M_{зр}.$$

Номінальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (16)

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

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою (15)

$$M_n = \frac{11 \cdot 10^3}{152,3} = 72,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пусковий момент електродвигуна визначається за формулою (14)

$$M'_{п.дв} = 72,3 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 128,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент зрушення робочої машини визначається за формулою (17)

$$M_{зр} = 0,2 \frac{11 \cdot 10^3}{152,3} = 14,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевірка здійснюється згідно умови (13)

$$M'_{п.дв} = 128,8 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{зр} = 14,46 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова виконується.

Перевірка електродвигуна за умовами перевантаження здійснюється за умовою (18)

$$M'_{мак.дв} \geq M_{о.мак.рм}.$$

Максимальний момент опору робочої машини визначається за формулою (19)

$$M_{о.мак.рм} = \frac{14,4 \cdot 10^3}{152,3} = 94,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (20)

$$M'_{\text{мак.дв}} = 72,3 \cdot 3,0 \cdot 0,9^2 = 175,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перевірка здійснюється згідно умови (18)

$$M'_{\text{мак.дв}} = 175,6 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{\text{о.мак.рм}} = 94,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова виконується.

Розрахунок потужності електродвигуна методом еквівалентної потужності

Еквівалентна потужність визначається за формулою (21)

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{9^2 \cdot 180 + 14,4^2 \cdot 234 + 3^2 \cdot 657 + 12^2 \cdot 189}{180 + 234 + 657 + 189}} = 8,73 \text{ кВт}$$

За каталогом, [9] попередньо вибираємо електродвигун за умовою (22)

$$P_{\text{н}} = 11 \text{ кВт} > P_{\text{екв}} = 8,73 \text{ кВт}$$

З умови вибираємо електродвигун потужністю 11 кВт типу 5AMX132M4У3.

Перевірку на перевантажувальну здатність не проводимо, так як даний двигун перевірений раніше.

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.