

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

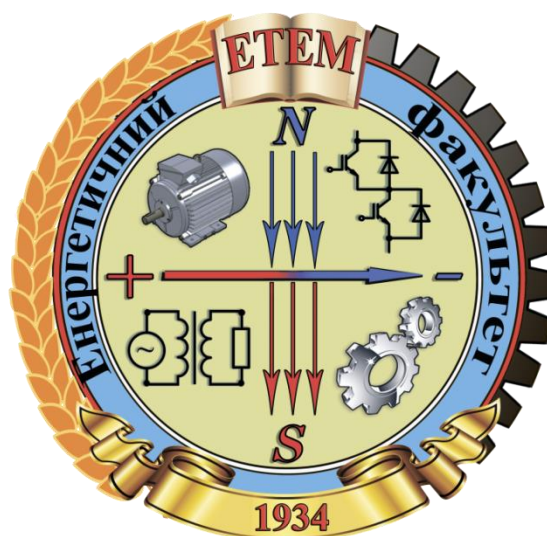
Кафедра “Електротехніка і електромеханіка
ім. професора В.В. Овчарова”

ДИПЛОМНЕ ПРОЕКТУВАННЯ
ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розрахунок і вибір потужності електродвигуна
для 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 короткочасного режиму роботи» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» / С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речина. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – 14 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 короткочасного режиму роботи	5
1.2 Методика вибору електродвигунів спеціального призначення.	6
1.3 Методика вибору електродвигунів загального призначення для роботи у короткочасному режимі.	7
1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для короткочасного режиму роботи	9
Список літератури	14

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 короткочасного режиму роботи

Короткочасний номінальний режим роботи S2 – режим, коли періоди роботи електродвигуна з номінальним навантаженням чергуються з періодами вимикання його з електромережі, причому тривалість періоду роботи настільки мала, що електродвигун не встигає нагрітися до усталеної температури, а за час паузи охолоджується до температури охолоджуючого середовища [1].

Промисловість виготовляє спеціальні двигуни для короткочасного режиму роботи. Основними параметрами, що їх характеризують, є номінальна потужність P_n і тривалість короткочасної роботи t_k .

Стандартом передбачено тривалість короткочасної роботи 10, 30, 60 і 90 хв. Але умови виробництва вимагають широкої номенклатури, тому налагоджено випуск двигунів з іншими тривалостями роботи, наприклад, 1; 2,5; 5; 8; 13; 18,5 хв.

Спеціальні двигуни, призначені для короткочасного режиму роботи, мають ряд особливостей. У них збільшена перевантажувальна здатність, змінене співвідношення втрат у міді і сталі. Двигуни малою тривалістю короткочасної роботи не мають спеціального вентилятора для охолодження, завдяки чому зменшується механічні втрати і знижується вартість двигунів.

У короткочасному режимі працюють електродвигуни приводів конвеєрів для роздавання кормів, прибирання гною, повороту лотків інкубаторів та ін. якщо тривалість роботи електродвигуна перевищує 90 хв, то режим роботи вважається тривалим.

Потужність, споживана тросошайбовим транспортером, $P_{тшт}$ кВт, становить

$$P_{тшт} = \frac{9,81Q(H+L_г \cdot f_г + L_2 \cdot f_2)}{1000\eta_{т}} \quad (1)$$

де Q - продуктивність тросошайбового транспортера, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$;

H - висота підйому продукту, м;

L_1, L_2 - сумарна довжина труб відповідно на ділянках вертикального і горизонтального переміщення, м;

f_1, f_2 - коефіцієнти опору руху тросошайбового робочого органа по горизонталі і вертикалі, що залежать від коефіцієнтів тертя корму і шайб троса об стінки при їхньому русі уздовж труб;

$$f_1 = 1,2 \dots 1,5, f_2 = 1,5 \dots 2;$$

η_n - ККД передачі.

Споживана потужність скреперної установки, $P_{ск.у}$ кВт, становить

$$P_{ск.у} = \frac{F_c \cdot v_c}{1000 \eta_y} \quad (2)$$

де F_c - повний тяговий опір скрепера, Н;

v_c - середня швидкість руху скрепера, $\frac{м}{с}$;

η_y - ККД установки.

1.2 Методика вибору електродвигунів спеціального призначення

Потужність спеціальних двигунів для короткочасного режиму роботи вибирається за умовами:

$$\left. \begin{array}{l} P_n > P_k \\ t_{к.кат} > t_k \end{array} \right\} \quad (3)$$

де P_n - номінальна потужність двигуна в короткочасному режимі роботи;

P_k - потужність навантаження, визначається за навантажувальною діаграмою;

t_k - фактична тривалість короткочасної роботи за навантажувальною діаграмою.

При роботі двигуна із змінним навантаженням потужність навантаження P_k визначається методами середніх втрат або еквівалентних величин.

При виборі спеціального двигуна попередньо вибираємо двигун з умови

$$\left. \begin{array}{l} P_n \geq P_k, \text{ або } P_n \geq P_{екв} \\ t_{к.кат} > t_k \end{array} \right\} \quad (4)$$

Якщо $t_k < t_{k.кат}$ необхідно перевірити вибраний двигун на нагрівання під час роботи. Для цього необхідно розрахувати потужність двигуна з умови

$$P_{роз} = P_k \sqrt{\frac{t_k}{t_{k.кат}}} \quad \text{або} \quad P_{роз} = P_{екв} \sqrt{\frac{t_k}{t_{k.кат}}} \quad (5)$$

Якщо $P_H > P_{роз}$, то за час короткочасної роботи двигун не перегріватиметься.

Вибраний двигун перевіряється за умовами пуску і на перевантажувальну здатність.

1.3 Методика вибору електродвигунів загального призначення для роботи у короткочасному режимі

Якщо спеціалізованих двигунів для короткочасного режиму роботи немає, можна використовувати двигуни, призначені для роботи у тривалому режимі. При цьому розрахунок потужності проводиться з умов допустимого нагрівання і механічного перевантаження.

Розраховується еквівалентна потужність за період роботи за формулою

$$P_{екв} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}} \quad (6)$$

Вибирається попередньо потужність електродвигуна за умовою

$$P_H \leq P_{екв} \quad (7)$$

Записуються каталожні дані обраного електродвигуна.

Розраховується постійна часу нагрівання електродвигуна за формулою

$$T_H = C_o \frac{m \cdot \tau_H \cdot \eta_H}{P_H (1 - \eta_H)} \quad (8)$$

де C_o - питома теплоємність матеріалу двигуна, $C_o = 390 \frac{Дж}{кг \cdot ^\circ C}$;

m – маса обраного електродвигуна, кг;

τ_H – номінальне перевищення температури обмотки статора електродвигуна, $^\circ C$.

Для асинхронних електродвигунів номінальне перевищення температури τ_H приймається за їх довідниковими даними на ізоляцію, враховуючи, що для класу нагрівостійкості «В» $\tau_H = 90 \text{ } ^\circ C$; «F»

$$\tau_H = 115 \text{ }^\circ\text{C} [1,3];$$

η_H - номінальний ККД.

Коефіцієнт механічного перевантаження розраховується за формулою

$$K_M = \sqrt{\frac{\alpha+1}{1-e^{-t_K/T_H}} - \alpha} \quad (9)$$

де t_K – період навантаження.

Визначаємо розрахункову потужність електродвигуна за формулою

$$P_{роз} = \frac{P_{екв}}{K_M} \quad (10)$$

Вибраний двигун перевіряється за умовою

$$P_H \geq P_{роз} \quad (11)$$

Якщо умова не виконується, то вибирається електродвигун більшої потужності і перевірки повторюються.

Вибраний двигун перевіряють за умовами пуску та на перевантажувальну здатність [3].

Перевіряємо електродвигун за умовами пуску

$$M'_{п,дв} \geq M_{зр}, \quad (12)$$

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

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

$$M'_{п,дв} = M_H \mu_{п} k_u^2, \quad (13)$$

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]

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (14)$$

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

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30}, \quad (15)$$

де n_H - номінальна частота обертання електродвигуна, хв⁻¹

$$M_{зр} = (0,2 \dots 0,3) \frac{P_H}{\omega_H}, \quad (16)$$

Перевіряємо електродвигун на перевантажувальну здатність

$$M'_{\text{мак,дв}} \geq M_{\text{о,мак,рм}} \quad (17)$$

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

$M_{\text{о,мак,рм}}$ - максимальний момент опору робочої машини, Н·м.

$$M_{\text{о,мак,рм}} = \frac{P_{\text{о,мак}}}{\omega_{\text{н}}}, \quad (18)$$

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

$\omega_{\text{н}}$ - номінальна кутова швидкість, рад/с.

$$M'_{\text{мак,дв}} = M_{\text{н}} \cdot \mu_{\text{мак}} \cdot k_u^2. \quad (19)$$

1.4 Приклад розрахунку і вибору потужності електродвигуна для короткочасного режиму роботи

За вихідними даними будемо графік короткочасного навантаження ЕД (рисунок 1). Вибираємо електродвигун спеціального та основного виконання. Частота обертання приводного валу робочої машини 1450 хв^{-1} . Електродвигун з'єднаний з механізмом безпосередньо.

$$\begin{array}{lll} P_1 = 16,8 \text{ кВт}; & P_2 = 24 \text{ кВт}; & P_3 = 4,8 \text{ кВт}; \\ t_1 = 480 \text{ с}; & t_2 = 264 \text{ с}; & t_3 = 360 \text{ с}. \end{array}$$

Вибір електродвигуна спеціального виконання

Розраховуємо еквівалентну потужність електродвигуна за формулою (6)

$$P_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{16,8^2 \cdot 480 + 24^2 \cdot 264 + 4,8^2 \cdot 360}{480 + 264 + 360}} = 16,4 \text{ кВт}$$

За каталогом попередньо вибираємо електродвигун за умовою (4)

$$t_{\text{к,кат}} = 8 \text{ хв} < t_{\text{к}} = 18,4 \text{ хв}$$

$$P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт} > P_{\text{екв}} = 16,4 \text{ кВт}$$

Каталожні дані двигуна:

Тип 4АМБ132М4Кр2; $P_{\text{н}} = 18,5 \text{ кВт}$; $t_{\text{к,кат}} = 8 \text{ хв}$; $I_{\text{н}} = 40,1 \text{ А}$; $n_{\text{н}} = 1420 \text{ хв}^{-1}$;
 $\cos \varphi = 0,84$; $\eta_{\text{н}} = 83,5 \%$; $\mu_{\text{н}} = 1,8$; $\mu_{\text{мін}} = 1,6$; $\mu_{\text{мак}} = 2,2$; $m = 88 \text{ кг}$.

Проведемо перевірку за (3)

$$P_{роз} = 16,4 \sqrt{\frac{18,4}{8}} = 24,8 \text{ кВт}$$

Оскільки $P_H = 18,5 \text{ кВт} < P_{роз} = 24,8 \text{ кВт}$, то за час короткочасної роботи двигун перегрівається. Вибираємо електродвигун з більшим часом роботи за умовою (4).

$$P_H = 18,5 \text{ кВт} > P_{екв} = 16,4 \text{ кВт}, \quad t_{к.кат} = 21 \text{ хв} < t_k = 18,4 \text{ хв}$$

Каталожні дані двигуна [14]:

Тип 4АМБ132М4Кр1; $P_H = 18,5 \text{ кВт}$; $t_{к.кат} = 21 \text{ хв}$; $I_H = 42,6 \text{ А}$; $n_H = 1455 \text{ хв}^{-1}$; $\cos \varphi = 0,82$; $\eta_H = 83,5 \%$; $\mu_n = 1,8$; $\mu_{мін} = 1,6$; $\mu_{мак} = 2,2$; $m = 88 \text{ кг}$.

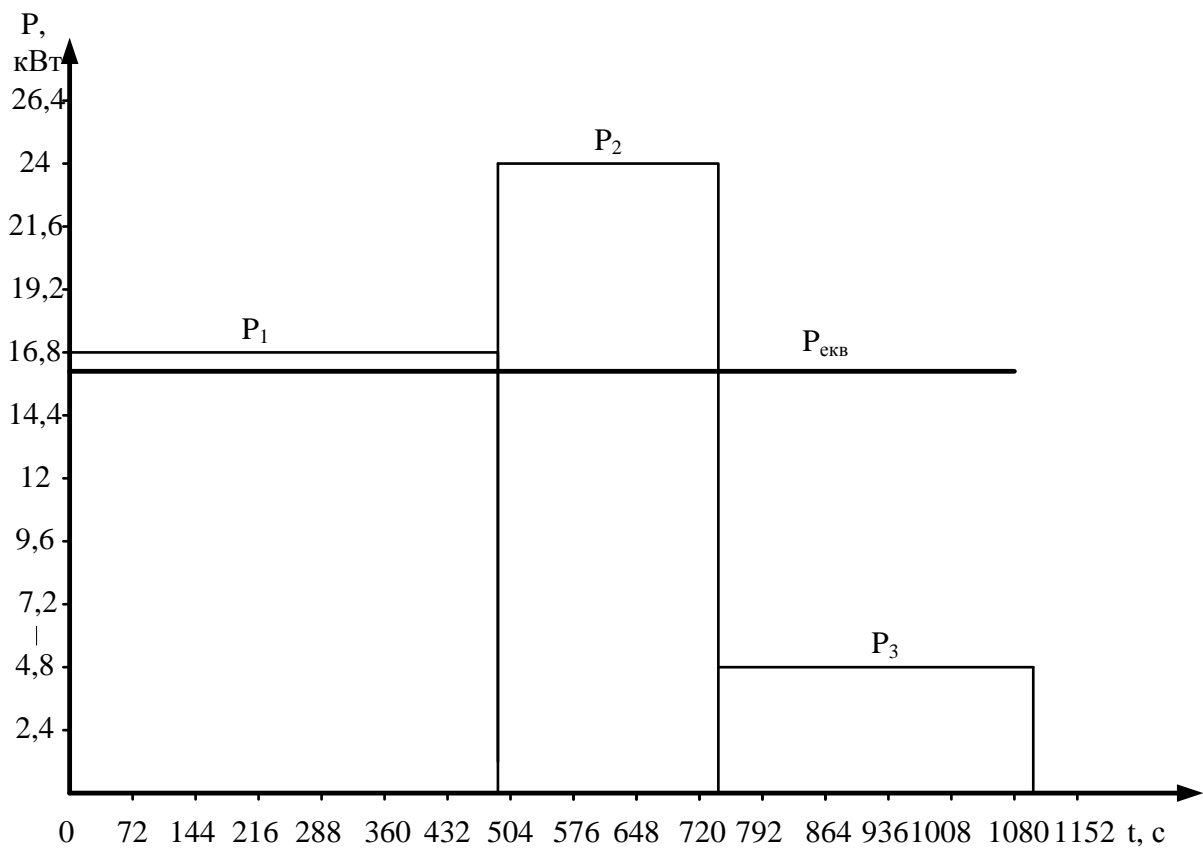


Рисунок 1 – Навантажувальна діаграма електродвигуна

Перераховуємо потужність, так як $t_k < t_{к.кат}$.

$$P_{роз} = 16,4 \sqrt{\frac{18,4}{21}} = 15,4 \text{ кВт}$$

Оскільки $P_H = 18,5 \text{ кВт} > P_{роз} = 15,4 \text{ кВт}$, то за час короткочасної роботи двигун не перегрівається.

Виконуємо перевірки електродвигуна за максимальним та пусковим моментом.

Перевіряємо електродвигун за пусковим моментом за умовою (12)

Номінальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (15)

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

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою (14)

$$M_n = \frac{18,5 \cdot 10^3}{152,3} = 121,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент електродвигуна визначається за формулою (13)

$$M'_{n.дв} = 121,5 \cdot 1,8 \cdot 0,9^2 = 177,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент зрушення робочої машини визначається за формулою (16)

$$M_{зр} = 0,25 \frac{18,5 \cdot 10^3}{152,3} = 30,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (12)

$$M'_{n.дв} = 177,2 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{зр} = 30,37 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Перевірка електродвигуна за умовами перевантаження здійснюється за умовою (17).

Максимальний момент опору робочої машини визначається за формулою (18)

$$M_{o.мак.рм} = \frac{24 \cdot 10^3}{152,3} = 157,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (19)

$$M'_{мак.дв} = 121,5 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 216,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (17)

$$M'_{мак.дв} = 216,5 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{o.мак.рм} = 157,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Вибір електродвигуна основного виконання

В випадку використання електродвигуна основного виконання режиму *S1* попередньо вибираємо потужність електродвигуна з умови (7)

$$P_n = 15 \text{ кВт} < P_{\text{екв}} = 16,4 \text{ кВт}$$

За каталогом вибираємо електродвигун.

Каталожні дані електродвигуна [14]:

Тип 5A160S4У3; $P_n = 15 \text{ кВт}$; $n_n = 1450 \text{ хв}^{-1}$; $I_n = 29,6 \text{ А}$; $\eta_n = 89,5 \%$;
 $\cos \varphi = 0,86$; $K_i = 6,1$; $\mu_n = 2,2$; $\mu_{\text{мак}} = 2,6$; $m = 127 \text{ кг}$.

Постійна часу нагрівання визначається за формулою (8)

$$T_n = 390 \frac{127 \cdot 115 \cdot 0,895}{15000(1 - 0,895)} = 3236,7 \text{ с} = 53,9 \text{ хв}$$

Коефіцієнт механічного перевантаження розраховується за формулою (9)

$$K_m = \sqrt{\frac{0,7 + 1}{1 - e^{-18,4/53,9}} - 0,7} = 2,27$$

Визначаємо розрахункову потужність електродвигуна за формулою (10)

$$P_{\text{роз}} = \frac{16,4}{2,27} = 7,22 \text{ кВт}$$

Вибраний двигун перевіряється за умовою (11)

$$P_n = 15 \text{ кВт} > P_{\text{роз}} = 7,22 \text{ кВт}$$

Умова виконується.

Виконуємо перевірку електродвигуна за максимальним та пусковим моментом

Перевіряємо електродвигун за пусковим моментом за умовою (12)

Номінальна кутова швидкість електродвигуна визначається за формулою (15)

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

Номінальний момент електродвигуна визначається за формулою (14)

$$M_n = \frac{15 \cdot 10^3}{151,7} = 98,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент електродвигуна визначається за формулою (13)

$$M'_{n.дв} = 98,8 \cdot 2,2 \cdot 0,9^2 = 176,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент зрушення робочої машини визначається за формулою (16)

$$M_{зр} = 0,25 \frac{15 \cdot 10^3}{152,3} = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (12)

$$M'_{n.дв} = 176,2 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{зр} = 24,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Перевірка електродвигуна за умовами перевантаження здійснюється за умовою (17)

Максимальний момент опору робочої машини визначається за формулою (18)

$$M_{o.мак.рм} = \frac{24 \cdot 10^3}{151,7} = 158,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна при зниженій напрузі визначається за формулою (19)

$$M'_{мак.дв} = 98,8 \cdot 2,6 \cdot 0,9^2 = 208 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевірка здійснюється згідно умови (17)

$$M'_{мак.дв} = 208 \text{ Н} \cdot \text{м} > M_{o.мак.рм} = 158,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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.