



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

19

**Харківський національний технічний університет
сільського господарства імені Петра Василенка**

ННІ енергетики та комп'ютерних технологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ВИБІР ДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ ТА ПУСКОЗАХИСНОЇ АПАРАТУРИ ПРИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

для студентів спеціальностей

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

163 «Біомедична інженерія»

РВО «бакалавр»

Затверджено

на засіданні кафедри АЕМС

Протокол № 4 від 7.03.2019 р.

Затверджено

на засіданні Методичної ради ННІ ЕКТ

ХНТУСГ імені Петра Василенка

Протокол № 7 від 28.03.2019 р.

Харків 2019

Автори: Хандола Ю.М., к.т.н., доц.; Сорокін М.С., к.т.н., доц.; Назаренко О.Ю., к.т.н.; Гузенко В.В., асистент
(Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка)

Хандола Ю.М. Методичні вказівки вибір двигунів за потужністю та пускозахисної апаратури при розрахунку електроприводів. / Ю.М. Хандола, М.С. Сорокін, О.Ю. Назаренко, В.В. Гузенко. – Харків: ХНТУСГ, 2019. – 34 с.

Рецензенти:

Кунденко М. П., доктор технічних наук, професор
(Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

Методичні рекомендації призначені для отримання практичних навичок по методикам вибору та розрахунку потужності електропривода й загальної методики підбору апаратів керування та захисту. Теоретичний матеріал супроводжується прикладами розрахунків.

Для студентів вищих аграрних навчальних закладів освіти II-IV рівнів акредитації напрямів: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 163 «Біомедична інженерія».

© Хандола Ю.М., Сорокін М.С.,
Назаренко О.Ю., Гузенко В.В., 2019

© Харківський національний
технічний університет сільського
господарства імені Петра Василенка

Зміст

Вступ.....	4
Розділ 1. Вибір електродвигунів за потужністю.....	5
1.1. Розрахунок та вибір електродвигунів за потужністю в основних режимах роботи.....	7
1.2. Нагрів та охолодження двигунів. Втрати енергії.....	11
1.3. Перевірка потужності електродвигуна по пуску і перевантаженню.....	14
1.4. Можлива частота вмикання двигуна.....	15
Розділ 2. Визначення потужності приводного електродвигуна для тривалого режиму роботи.....	16
2.1. Перевірка двигуна на нагрівання під час роботи за умовою $\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{мах}}$	18
2.2. Перевірка двигуна методом середніх втрат потужності.....	19
2.3. Перевірка двигуна методом еквівалентної потужності.....	20
2.4. Побудова графіка нагрівання двигуна в тривалому режимі роботи зі змінним навантаженням.....	21
Вихідні дані для розрахунку.....	22
Розділ 3. Вибір пускозахисної апаратури.....	24
3.1. Вибір автоматичних вимикачів.....	24
3.2. Вибір електромагнітних пускачів.....	26
3.3. Вибір плавких запобіжників.....	28
3.4. Вибір електричних реле.....	31
Перелік посилань.....	34

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 електропривода 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 електропривода виконується паралельно з проектуванням робочої машини на початковій стадії.

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

1. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ

При створенні нових електроприводів (ЕП) сільськогосподарських машин або їх модернізації в проектах вибирають такі серійні електродвигуни (ЕД), які здатні забезпечити надійну і економічну роботу виконавчих органів робочих машин (ВОРМ). Їх паспортні дані (потужність, напруга, струм тощо) повинні бути близькими до розрахункових, а конструктивне виконання відповідати способу розміщення в ЕП і умовам навколишнього середовища. Правильно вибраною потужністю ЕД слід вважати потужність, яка визначена в строгій відповідності з режимом роботи ВОРМ і очікуваним навантаженням.

Вибір ЕД з потужністю більшою за необхідну для РМ веде до зростання габаритів, маси і вартості ЕП, а також до зниження його енергетичних показників: коефіцієнта корисної дії та коефіцієнта потужності двигунів змінного струму. Зниження потужності ЕД призводить до зниження швидкості обертання (крім синхронних двигунів) при розрахунковому навантаженні РМ, при цьому знижується продуктивність РМ, а іноді й якість отриманої продукції. Крім того, тривале перевантаження ЕД заниженої потужності викликає перегрівання ізоляції обмоток більше за допустиме, внаслідок чого відбувається інтенсивне старіння ізоляції й різко скорочується строк її служби. В електричних машинах використовують ізоляційні матеріали таких класів нагрівостійкості: А, Е, В, F, H, С. При виготовленні сучасних ЕД у більшості випадків застосовують ізоляцію класів В, F і H.

Нагрівання ЕД є наслідком втрати частини електричної енергії (ЕЕ) в ЕД при перетворенні її в механічну енергію (МЕ). Дотримання встановлених обмежень за допустимою температурою нагрівання забезпечує нормативну тривалість служби електричної машини в межах 15-20 років.

Допустимим тепловим режимом ЕД вважається такий режим роботи, при якому тривалість служби його ізоляції T_i буде не меншою за передбачувану. Тривалість служби ізоляції T_i дуже залежить від температури нагрівання Θ_i , тобто $T_i = f(\Theta_i)$, але ця залежність має нелінійний характер і може бути визначена як експонента $T_i = Ke^{-\Theta_i}$, де K – константа; $f(\Theta_i)$ – залежність, яка визначається класом ізоляції.

При тривалому режимі роботи ЕД із сталим навантаженням, визначення тривалості служби ізоляції не викликає особливих труднощів.

Якщо періоди нагрівання ізоляції змінюються періодами охолодження і ці процеси мають різну інтенсивність, визначення тривалості строків служби ізоляції ускладнюється.

В реальних умовах роботи електродвигунів температура охолоджуючого повітря змінюється в широких межах. Стандартом встановлена допустима гранична температура охолоджуючого повітря $+40$ °С. У зв'язку з цим, поряд із допустимою температурою Θ_{don} нагрівання елементів ЕД, прийнято вказувати допустиме перевищення температури τ_{don} над температурою охолоджуючого середовища, яке визначається різницею $\tau_{don} = \Theta_{don} - \Theta_c$.

Дослідження процесів нагрівання та охолодження ЕД являє собою дуже складну задачу, оскільки двигун складається з деталей і вузлів різної конфігурації, виготовлених із різних матеріалів, які мають різні теплоємності і теплопередачі.

Неоднаковими є умови нагрівання окремих частин двигуна, а напрямок теплових потоків залежить від режиму роботи ЕД. Наприклад, при холостому ході основна кількість теплоти виділяється у сталі статора, а при навантаженні – в обмотках ЕД.

1.1. Розрахунок та вибір електродвигунів за потужністю в основних режимах роботи

Основою розрахунку потужності електродвигуна в будь-якому режимі роботи служить навантажувальна діаграма, що показує залежність обраного показника навантаження двигуна від часу $L=f(t)$. Показниками навантаження L можуть бути: струм I , споживаний двигуном; момент M на його валу; потужність P , що розвивається двигуном на валу.

Навантаження в періоди роботи двигуна може бути як постійним, так і змінним. Для збереження середніх втрат потужності й відповідно середнього перевищення температури двигуна змінне навантаження заміняють еквівалентною постійною:

$$L_e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} L_i^2 t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}}, \quad (1.1)$$

де: L_i , t_i – значення показника навантаження і тривалість для i -ої ділянки навантажувальної діаграми;

n – число ділянок навантажувальної діаграми.

У тривалому режимі роботи SI потужність двигуна за нагріванням визначають на підставі співвідношення:

$$L_n \geq L_e,$$

де: L_n – номінальний показник двигуна (номінальний струм I_n , момент M_n , потужність P_n), що відповідає еквівалентному показнику навантаження L_e навантажувальної діаграми (еквівалентні струм I_e , момент M_e , потужність P_e).

Метод еквівалентних величин використовують для попереднього визначення потужності двигуна за нагріванням. Остаточню правильність вибору потужності двигуна уточнюють

методом середніх витрат, шляхом порівняння його номінальних витрат потужності ΔP_n із середніми $\Delta P_{сер}$ втратами, тобто:

$$\Delta P_n \geq \Delta P_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta P_i t_i}{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}, \quad (1.2)$$

де: $\Delta P_i, t_i$ – витрати потужності та тривалість навантаження двигуна i -ої ділянки навантажувальної діаграми.

Номінальні втрати потужності ΔP_n розраховують на підставі паспортних даних двигуна, часткові – на ділянках навантажувальної діаграми по співвідношенню:

$$\Delta P_i = P_i \left(\frac{1 - \eta_i}{\eta_i} \right), \quad (1.3)$$

де: η_i – ККД двигуна при P_i навантаженні на валу, що визначають по навантажувальній діаграмі.

Якщо немає робочої характеристики обраного двигуна, що виражає залежність $\eta_i = f(P_i / P_n)$, то необхідні значення ККД η_i при часткових навантаженнях розраховують по формулі:

$$\eta_i = 1 / \left[1 + \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \frac{\alpha / x + x}{\alpha + 1} \right], \quad (1.4)$$

де: $x = P_i / P_n$ – ступінь завантаження двигуна;

$\alpha = \Delta P_c / \Delta P_{вн}$ – відношення постійних витрат потужності ΔP_c в двигуні до його номінальних змінних $\Delta P_{Ун}$. Значення α приведені нижче.

Двигуни змінного струму: загального призначення – $\alpha = 0,5...0,7$; кранові – $\alpha = 0,4...1,0$. Двигуни постійного струму: загального призначення змішаного збудження – $\alpha = 1...1,5$; кранові – $\alpha = 0,4...1,0$.

Режим роботи S2.

Фактичне еквівалентне навантаження P_ϕ дорівнює:

$$P_\phi = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}}, \quad (1.5)$$

Тривалість фактичної роботи $t_{p\phi} = t_1 + t_2 + t_3$. Тому вибирають двигун режиму S2 потужністю $P_n \geq P_\phi$ і тривалістю роботи $t_{pn} \geq t_{p\phi}$.

Враховуючі, що шкала потужностей і тривалість роботи двигунів режиму S2 дискретна, можна на підставі рівності витрат енергії за період роботи шляхом перетворень одержати формулу для перерахування потужності двигуна режиму S2 на роботу з будь-якою стандартною (нормованою) тривалістю ($t_{pn} = 15, 30, 60$ чи 90 хв).

$$P_n \geq P_\phi \sqrt{\frac{t_{p\phi}}{t_{pn}}}. \quad (1.6)$$

Для короткочасного режиму роботи S2 можна вибрати двигун тривалого режиму роботи S1 меншої потужності, ніж навантаження P_ϕ , тому що за малий інтервал роботи $t_{p\phi}$ він не встигне нагрітися до сталого значення перевищення температури $\tau_{дон}$.

Таким чином, для роботи в короткочасному режимі S2 необхідна потужність двигуна режиму S1 повинна бути:

$$P_n \geq \frac{P_\phi}{P_m} = \frac{P_{кр}}{P_m}, \quad (1.7)$$

де: $P_m = p_i = \sqrt{P_m(\alpha + 1) - \alpha}$ – коефіцієнт механічного перевантаження, який дорівнює коефіцієнту перевантаження

струму, а $p_m = \frac{\alpha + p_i^2}{\alpha + 1}$ – коефіцієнт теплового перевантаження,

$$\text{або } p_m = \frac{1}{(1 - e^{-t_p/T_n})}.$$

Режим роботи S3.

Потужність двигуна для даного випадку буде визначатися:

$$P_n \geq P_\phi \sqrt{TB_\phi / TB_n}, \quad (1.8)$$

Постійну еквівалентної потужності навантаження P_ϕ , як і у випадку короткочасного режиму роботи, розраховують методом еквівалентних величин.

За графіком навантаження визначають фактичну тривалість вмикання (TB_ϕ) (%):

$$TB_\phi = t_p 100 / (t_p + t_o), \quad (1.9)$$

де: t_p – час роботи, хв; t_o – час паузи, хв.

Одержимо вираз, що дозволяє перерахувати потужність двигуна на будь-яку стандартну (нормовану) тривалість вмикання $TB_n = 15, 25, 40, 60$ %.

Робота двигуна режиму $S1$, в режимі роботи $S3$. У цьому випадку потужність двигуна можна вибрати трьома способами.

У першому способі двигун режиму $S1$ будемо розглядати як двигун режиму $S3$, що має $TB_n = 100\%$. У цьому випадку, при розрахунку тривалості вмикання необхідно враховувати погіршення тепловіддачі двигуна у відключеному стані, використовуючи значення β_o .

$$P_n \geq P_\phi \sqrt{TB'_\phi / 100}, \quad (1.10)$$

де: $TB'_\phi = t_p 100 / (t_p + \beta_o t_o)$ – значення приведеної тривалості вмикання (%).

У другому способі, режим роботи *S3* будемо розглядати як режим *S1* з перемінним навантаженням. З огляду на погіршення тепловіддачі двигуна у вимкненому стані, з коефіцієнтом β_o , і використовуючи метод еквівалентних величин, одержимо:

$$P_n \geq P_{екв} = \sqrt{\frac{P_\phi^2 t_p}{t_p + \beta_o t_o}}. \quad (1.11)$$

У третьому способі формулу розрахунку коефіцієнта теплового перевантаження двигуна режиму *S1* при роботі в повторно-короткочасному режимі *S3* розглядають:

$$P_m = \frac{1 - e^{-\frac{t_p + \beta_o t_o}{T_n}}}{1 - e^{-t_p/T_n}}. \quad (1.12)$$

1.2. Нагрів та охолодження двигунів. Втрати енергії

Повні втрати потужності в двигуні:

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_v \chi^2 = \Delta P_c + I_n^2 R \left(\frac{I_i}{I_n} \right)^2 = \Delta P_v (\alpha + \chi^2), \quad (1.13)$$

де: ΔP_c – постійні втрати потужності, *Вт*;

ΔP_v – змінні втрати потужності, *Вт*;

χ – кратність струму, $\chi = I_i/I_n$;

I_n – номінальний струм двигуна, *A*;

R – опір обмоток, *Ом*;

α – коефіцієнт втрат, $\alpha = \Delta P_c/\Delta P_v$ (для ДПС НЗ $\alpha = 1,0$; для ДПС ПЗ $\alpha = 0,5$; для АД $\alpha = 0,5...0,7$, для синхронних двигунів $\alpha = 1,5...2,0$).

Втрати потужності ΔP_0 при холостому ході двигуна:

$$\Delta P_0 \approx \Delta P_c = P_n \frac{(1 - \eta_n) \alpha}{\eta_n (\alpha + 1)}. \quad (1.14)$$

Гранично допустиме перевищення температури двигуна над стандартним значенням температури охолоджуючого середовища:

$$\tau_{доп} = \theta_{доп} - \theta_c, \quad (1.15)$$

де: $\theta_{доп}$ – гранично допустиме значення температури ізоляції обмоток двигуна, $^{\circ}C$;

θ_c – стандартна (+40) температура охолоджуючого середовища, $^{\circ}C$.

Тепловіддача двигуна:

$$A = \frac{\Delta P_n}{\tau_{доп}} = \frac{P_n (1 - \eta_n)}{\tau_{доп} \cdot \eta_n}. \quad (1.16)$$

Рівняння нагрівання та охолодження двигуна:

$$\tau = \tau_0 + (\tau_{уст} - \tau_0) \left(1 - e^{1/T_n}\right), \quad (1.17)$$

де: τ – підвищення температури поверхні машини відносно температури охолоджуючого середовища, $^{\circ}C$;

τ_0 , $\tau_{уст}$ – відповідно початкове та установлене значення підвищення температури машини відносно температури охолоджуючого середовища, $^{\circ}C$;

t – час роботи двигуна при незмінному навантаженні, s ;

T_n – постійна часу нагрівання, s .

Установлене (кінцеве, при $t \rightarrow \infty$) перевищення температури поверхні машини відносно температури охолоджуючого середовища:

$$\tau_{уст} = \frac{\Delta P}{A}. \quad (1.18)$$

Стала часу нагрівання:

$$T_n = \frac{C}{A} = \frac{c_i m}{A} = \frac{c_i m \tau_{\text{дон}} \eta_n}{P_n \cdot 10^3 (1 - \eta_n)}, \quad (1.19)$$

де: C – теплоємність електродвигуна, Дж/°С;

m – маса двигуна, кг;

c_i – питома теплоємність матеріалів двигуна, Дж/(кг·°С).

Стала часу охолодження нерухомого двигуна:

$$T_0 = T_n / \beta_0 = C / A_0 = C / (\beta_0 A), \quad (1.20)$$

де: β_0 – коефіцієнт погіршення тепловіддачі при нерухомому роторі.

Приблизні значення коефіцієнта β_0 для двигунів: з незалежною вентиляцією – 1; без примусового охолодження – 0,95...0,98; самовентильовані – 0,45...0,55; захищені самовентильовані – 0,25...0,35.

Коефіцієнт $\beta_{n.m}$ погіршення тепловіддачі в перехідних режимах роботи (пуск, гальмування):

$$\beta_{n.m} = \frac{1 + \beta_0}{2}. \quad (1.21)$$

Якщо двигун до включення був холодним, тобто його температура дорівнювала температурі навколишнього середовища ($\tau_0 = 0$, $\tau_{\text{уст}} > 0$), то вираз (1.17) приймає вид рівняння нагрівання двигуна:

$$\tau = \tau_{\text{уст}} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_n}} \right). \quad (1.22)$$

Рівняння охолодження вимкненого з мережі двигуна, записують таким чином:

$$\tau = \tau_{вим} e^{\frac{t}{T_0}}, \quad (1.23)$$

де: $\tau_{вим}$ – підвищення температури двигуна в момент його вимкнення, град.

Різниця між стандартним і фактичним значенням температур охолоджуючого середовища:

$$\Delta \tau = \theta_c - \theta_0 = 40 - \theta_0, \quad (1.24)$$

де: θ_0 – фактична температура охолоджуючого середовища, $^{\circ}\text{C}$.

Можливе навантаження двигуна при відхиленні фактичної температури охолоджуючого середовища від стандартної:

$$P_{\theta} = P_n \sqrt{1 + \frac{\Delta \tau}{\tau_{дон}} (\alpha + 1)}. \quad (1.25)$$

1.3. Перевірка потужності електродвигуна по пуску і перевантаженню

Для забезпечення пуску ЕП, потужність двигуна повинна бути достатньою для виконання умови:

$$M_{n(U)} \geq M_{с.руш} + M_{над}, \quad (1.26)$$

де: $M_{n(U)}$ – пусковий момент електродвигуна з урахуванням можливого зниження напруги живлення при пуску, $\text{H}\cdot\text{м}$;

$M_{с.руш}$ – момент статичного опору на валу двигуна при русенні з урахуванням можливих перевантажень від сил тертя-спокою, $\text{H}\cdot\text{м}$;

$M_{над}$ – мінімальний надлишковий момент, необхідний для забезпечення пуску ЕП, $\text{H}\cdot\text{м}$.

Звичайно $M_{над} = 0,2 M_{с.н}$, тут $M_{с.н}$ – номінальний статичний момент навантаження на валу двигуна, $H.м.$

Відповідно до ЕП з АД можна представити:

$$M_n M_n^* U_n^{*2} \geq M_{с.руш} + M_{над}, \quad (1.27)$$

де: $M_n = M_n / M_n$ – кратність пускового моменту АД;
 $U_n = U_n / U_n$ – кратність напруги живлення при пуску АД.

Для роботи ЕП при перевантаженні його потужність повинна бути достатньою, щоб виконувалася умова статичної стійкості.

$$M_n M_k^{*2} U_p^{*2} \geq M_{C_{max}}, \quad (1.28)$$

де: $M_k = M_k / M_n$ – перевантажувальна здатність (кратність максимального моменту) двигуна;

$U_p = U_p / U_n$ – відносний рівень живильного напруги при роботі АД від номінального;

$M_{C_{max}}$ – максимальний статичний момент навантаження на валу двигуна при роботі, $H.м.$

$$P_\theta = P_n \sqrt{1 + \frac{\Delta t}{\tau_{дон}} (\alpha + 1)}. \quad (1.29)$$

1.4. Можлива частота вмикання двигуна

$$z = 3600 \frac{\Delta P_n \beta_0 (1 - \varepsilon)}{\Delta A_n + \Delta A_2}, \quad (1.30)$$

де: ΔA_n і ΔA_2 – відповідно втрати енергії при пуску і гальмуванні двигуна, $кВт/с$,

$\varepsilon = TB / 100 = (t_{пуск} + t_{роботи} + t_{гальм}) / t_{цикла}$ – відносна тривалість вмикання.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДНОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА ДЛЯ ТРИВАЛОГО РЕЖИМУ РОБОТИ

Для вирішення поставленої задачі потрібно за даними діаграми навантаження робочої машини визначити необхідну потужність приводного електродвигуна для тривалого режиму роботи, розрахувати і побудувати криву нагрівання двигуна.

Тривалий номінальний режим (S1) – режим роботи АД при незмінному навантаженні або навантаженні, що циклічно змінюється, причому за час роботи ($t_p > 3T_n$) перевищення температури усіх частин АД досягає усталеного значення. Прикладами механізмів з таким технологічним режимом можуть бути: відцентровий насос з сталими значеннями висоти всмоктування, тиску в напірному трубопроводі і продуктивності, компресорні і вентиляторні установки, конвеєри з сталою масою транспортованого матеріалу, зерноочисні машини, силосорізки, металорізальні верстати, установки безперервного транспорту.

Вибір АД за потужністю для тривалого режиму роботи із змінним навантаженням, коли послідовно змінюються робочі цикли і паузи, являє собою складну задачу. Дійсно, якщо вибрати АД за максимальним значенням навантаження, то АД в тепловому відношенні буде недовантаженим, навпаки, вибір АД за мінімальним значенням навантаження призведе до його перегрівання. Як перший, так і другий випадки не можуть бути раціональним розв'язанням поставленої задачі.

Вибір потужності за середніми значеннями навантаження допустимий лише при незначних коливаннях навантаження. В іншому випадку АД може перегріватися, оскільки при цьому не враховують квадратичну залежність втрат потужності в АД від струму, що протікає в обмотках.

Відомо, що довговічність ізоляції залежить від її температури, тому при змінному навантаженні потужність АД слід вибирати так, щоб в момент максимальних навантажень температура ізоляції обмоток не перевищувала допустимой.

Тому для тривалого режиму зі змінним навантаженням спочатку орієнтовано розраховують потужність (момент) на валу АД за середнім значенням статичної діаграми навантаження РМ, помноживши його на коефіцієнт, який наближено враховує перевищення потужності (моменту) АД над середньою потужністю (моментом) навантаження:

$$P_{ном} \geq (1,2\dots1,3)P_{cp.дзр} = (1,2\dots1,3) \frac{\sum_1^n P_i t_i}{\sum_1^n t_i}, \quad (2.1)$$

де $P_{cp.дзр}$ – відповідно середнє значення потужності за навантажувальною діаграмою.

Попередньо приймаємо АД (тип двигуна), який має: $P_{ном}$, $\eta_{ном}$, $\rho_{ном}$, $M_{п}^*$, $M_{к}^*$, m .

Користуючись каталожними даними попередньо вибраного двигуна і даними робочої машини, розраховують перехідні процеси в приводі та будують навантажувальну діаграму двигуна. За допомогою останньої можна розрахувати і побудувати криву нагрівання двигуна, за якою визначають максимальне перевищення температури обмотки τ_{max} . Якщо мати на увазі, що усталене перевищенням температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища АД у такому режимі роботи можливе через велику кількість циклів, то метод остаточного вибору потужності АД за кривими нагрівання стає дуже трудомістким і малопритатним, тим більше, значення сталої нагрівання в каталожних даних двигунів не приводиться, а її обчислення занадто наближене.

На практиці для перевірки попередньо вибраного двигуна користуються простішими методами, до яких відносяться метод середніх втрат потужності і метод еквівалентних значень величин (струму, потужності або моменту).

2.1. Перевірка двигуна на нагрівання під час роботи за умовою $\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{мак}}$

Під час кожного періоду роботи двигуна визначаємо коефіцієнти завантаження $K_{з,i} = \frac{P}{P_n}$ і за формулою при $\alpha = 0,6$ визначаємо ККД:

$$\eta_i = \frac{1}{1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{\frac{\alpha}{K_3} + K_3}{\alpha + 1}}. \quad (2.2)$$

За формулою визначаємо втрати потужності в двигуні при і-тому навантаженні:

$$\Delta P_i = \frac{P_i(1 - \eta_i)}{\eta_i}. \quad (2.3)$$

Визначаємо тепловіддачу двигуна:

$$A = \frac{\Delta P_n}{\tau_{\text{доп}}}, \quad (2.4)$$

де $\tau_{\text{доп}} = \theta_{\text{доп}} - 40^\circ\text{C} = 115^\circ\text{C}$ – допустима температура перегрівання двигуна над температурою охолоджуючого середовища; $\theta_{\text{доп}} = 155^\circ\text{C}$ – допустима гранична температура ізоляції класу F.

За формулою визначаємо сталу часу нагрівання двигуна:

$$T_n = \frac{c \cdot m \cdot \tau_{\text{доп}} \cdot \eta_n}{P_n \cdot 10^3 \cdot (1 - \eta_n)}, \quad (2.5)$$

де c – питома теплоємність електротехнічної сталі, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$;

m – маса двигуна, кг.

Для визначення усталеної температури перегріву $\tau_{y,i}$ для кожного проміжку часу роботи двигуна, користуємось формулою:

$$\tau_{y,i} = \frac{\Delta P_i}{A}. \quad (2.6)$$

і за формулою розраховуємо дані для побудови кривої нагрівання на першій ділянці, а на інших ділянках, будуємо за формулою:

$$\tau_i = \tau_{y,i} (1 - e^{\frac{-t_i}{T_n}}). \quad (2.7)$$

Оскільки $\tau_{\max} \ll \tau_{\text{доп}}$, то вибраний двигун під час роботи перегріватись не буде. І, враховуючи дану умову ($\tau_{\max} \ll \tau_{\text{доп}}$), є необхідність перевірки використання АД меншої потужності. Для цього слід повторити розрахунки і перевірити двигун методом середніх втрат потужності.

2.2. Перевірка двигуна методом середніх втрат потужності

Суть метода полягає в тому, що перевищення температури двигуна при незмінній температурі теплопередачі визначається середніми втратами за цикл.

Із побудованої кривої нагрівання АД можна проаналізувати чи має місце перегрівання. Якщо не перегрівається, то двигун вибрано вірно, а якщо перегрівається, то необхідно взяти двигун більшої потужності й повторити розрахунок, але і в першому і другому випадку необхідний перерахунок іншими методами.

Розглянутий метод розрахунку температури досить складний і неточний, бо значення сталої нагрівання в каталожних даних двигунів не приводяться, а її обчислення занадто наближене. Тому в практичних розрахунках для

перевірки попередньо вибраного двигуна користуються простішими методами середніх втрат потужності або еквівалентних величин.

Визначимо середні втрати потужності в двигуні і порівняємо їх з номінальними

$$\Delta P_{сер} = \frac{\sum_1^n \Delta P_i \cdot t_i}{n \sum_1^n t_i}. \quad (2.8)$$

При виконанні умови $\Delta P_n > \Delta P_{сер}$, двигун не буде перегріватися.

Середні втрати потужності в двигуні $\Delta P_n > \Delta P_{сер}$, порівняно з номінальними менші, тобто вимоги задовольняються і двигун не буде перегріватися.

2.3. Перевірка двигуна методом еквівалентної потужності

Методом еквівалентної потужності зручно користуватися при перевірці потужності електродвигунів, що працюють зі швидкістю, яка мало змінюється, тобто $\omega = const = \omega_{ном}$. В цьому випадку потужність пропорційна моменту: $P = M \omega_{ном}$. Коли кутова швидкість ЕД на окремих ділянках циклу мало змінюється, то нагрівання ЕД можна оцінити, використовуючи цей метод.

Визначаємо еквівалентну потужність навантаження за формулою:

$$P_e = \sqrt{\frac{\sum_1^n P_i^2 \cdot t_i}{\sum_1^n t_i}}, \quad (2.9)$$

де P_e – еквівалентна потужність.

Оскільки $P_n > P_e$, двигун при роботі перегріватись не буде.

2.4. Побудова графіка нагрівання двигуна в тривалому режимі роботи зі змінним навантаженням

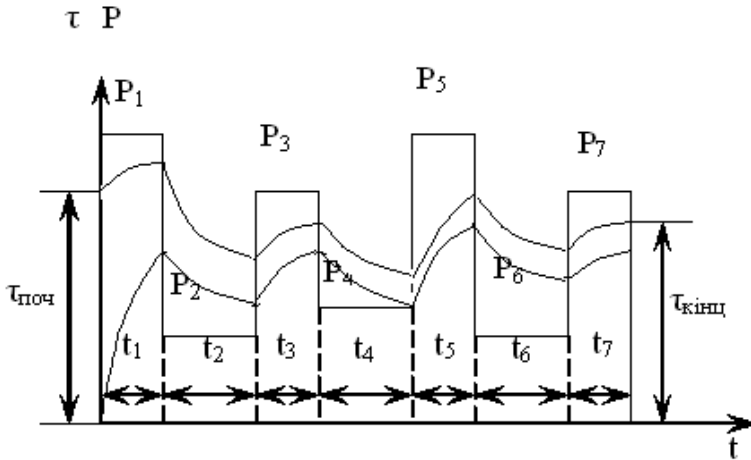


Рис. 1. Криві нагрівання електродвигуна в тривалому режимі роботи

З графіків видно, що при роботі ЕД в тривалому режимі роботи зміна температури його обмоток описується відрізками експоненціальних кривих. На основі цих даних можна зробити відповідні висновки, щодо природи нагріву ЕД та значення правильного вибору потужності для приводу.

Вихідні дані для розрахунку

№	Навантаження на валу АД за періодами роботи, кВт				t ₀	Тривалість роботи за періодами, хвилини				ΔU
	п/п	1-й	2-й	3-й		4-й	хв	1-й	2-й	
1	2	8	4	12	10	10	10	20	10	6
2	14	20	4	8	12	20	10	10	20	8
3	8	14	4	2	14	18	10	10	15	10
4	27	8	20	6	16	15	10	20	5	12
5	12	20	6	10	18	10	15	20	15	14
6	24	12	8	6	20	8	12	15	10	16
7	12	24	8	6	22	12	18	10	10	18
8	5	15	25	10	24	10	20	10	10	20
9	10	5	15	25	26	15	15	15	10	18
10	20	10	5	15	28	15	10	10	15	16
11	10	8	5	4	30	8	16	16	14	14
12	8	5	2	3	32	10	15	15	15	12
13	3	8	5	12	34	12	12	12	12	10
14	12	13	8	5	36	16	16	16	16	8
15	9	12	5	7	38	10	16	10	16	6
16	7	8	14	5	40	20	10	12	12	8
17	5	7	13	11	42	14	12	12	14	10
18	11	5	7	8	14	10	16	10	16	12

Продовження таблиці										
п/п	1-й	2-й	3-й	4-й	хв	1-й	2-й	3-й	4-й	%
19	12	11	7	5	15	5	7	9	10	15
20	6	4	10	13	48	10	15	15	10	16
21	13	10	4	6	50	12	18	18	8	18
22	6	13	10	11	52	12	14	16	18	20
23	14	8	13	10	54	20	5	15	15	18
24	10	4	6	3	56	10	10	8	15	16
25	12	6	14	10	58	15	20	5	10	14
26	2	8	6	4	60	15	15	10	8	12
27	14	12	18	16	58	10	8	8	12	10
28	6	4	2	8	56	5	15	15	10	8
29	18	15	14	12	54	10	10	8	8	6
30	2	4	6	8	52	10	20	10	10	8
31	2	0	4	6	50	20	5	18	8	10
33	6	0	6	2	46	20	8	10	10	14
34	1	0	3	5	44	8	5	18	18	16
35	3	0	5	1	42	12	6	12	14	18
36	5	0	1	3	40	20	5	8	14	20
37	4	0	6	8	38	16	4	12	12	18
38	6	0	8	4	36	18	6	16	14	16
39	8	0	4	6	34	12	8	16	16	14
40	5	0	7	3	32	16	4	15	20	12

3. ВИБІР ПУСКОЗАХИСНОЇ АПАРАТУРИ

3.1. Вибір автоматичних вимикачів

Автоматичні вимикачі (автомати) призначені для автоматичного вимикання електричних кіл при аномальних і аварійних режимах роботи: коротких замиканнях, перевантаженнях, надмірному зниженні напруги і т.д., а також для нечастих вмикань і вимикань вручну номінальних струмів навантаження. Загальний вигляд автоматичного вимикача представлено на рисунку 2.



Рис. 2. Автоматичні вимикачі

Автоматичні вимикачі для захисту електродвигунів вибирають так, щоб вони задовольняли вимогам двигунів і умовам експлуатації. Номінальна напруга автомата $U_{a.ном.}$ повинна бути не меншою напруги мережі $U_{м.ном.}$, в якій він буде працювати:

$$U_{a.ном.} \geq U_{м.ном.} \quad (3.1)$$

Номінальний струм головного кола вимикача $I_{a.ном.}$ та номінальний струм його теплових і електромагнітних розчіплювачів $I_{р.ном.}$ повинні бути не меншими від номінального струму двигуна $I_{дв.ном.}$:

$$I_{a.ном.} \geq I_{дв.ном.}; I_{р.ном.} \geq I_{дв.ном.} \quad (3.2)$$

Для захисту групи електродвигунів, номінальний струм розчіплювачів автомата повинен бути не меншим суми номінальних струмів двигунів:

$$I_{p.ном.} \geq \sum_1^n I_{дв.ном.} \cdot \quad (3.3)$$

Крім того, автоматичний вимикач вибирається за конструктивними ознаками, за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища та за стійкістю проти комутаційних спрацювань.

Вибраний апарат перевіряють на неспрацювання при пуску асинхронних електродвигунів:

а) для захисту одного двигуна:

$$I_{y.емр.} = K_{відс.} \cdot I_{p.ном} \geq K_з \cdot K_{p.p.} \cdot K_{p.н.с.} \cdot K_i \cdot I_{дв.ном.}, \quad (3.4)$$

б) для захисту групи двигунів перевірка виконується для найважчих умов, коли запускається двигун з найбільшим пусковим струмом, а решта двигунів групи працює з номінальним навантаженням:

$$I_{y.емр.} = K_{відс.} \cdot I_{p.ном} \geq K_з \cdot K_{p.p.} \cdot \left(\sum_1^{n-1} I_{дв.ном.} + K_{p.н.с.} \cdot K_{i.нб.} \cdot I_{дв.ном.нб.} \right) \quad (3.5)$$

де $I_{y.емр.}$ – уставка струму неспрацювання електромагнітного розчіплювача, А;

$K_{відс.}$ – кратність відсічки автоматичного вимикача;

$I_{p.ном.}$ – номінальний струм електромагнітного розчіплювача, А;

$K_з$ – коефіцієнт запасу, який приймають рівним 1,1;

$K_{p.p.}$ – коефіцієнт, що враховує розкид струмів спрацювання електромагнітних розчіплювачів (визначається з технічної характеристики автомата);

$K_{p.н.с.}$ – коефіцієнт розкиду пускового струму двигуна;

K_i – кратність пускового струму двигуна;

$I_{\text{дв.ном.}}$ – номінальний струм двигуна, A ;

$\sum_1^{n-1} I_{\text{дв.ном.}}$ – сума номінальних струмів електродвигунів без

струму двигуна, у якого пусковий струм найбільший, A ;

$K_{i.\text{нб.}}$ і $I_{\text{дв.ном.нб.}}$ – відповідно номінальний струм і кратність пускового струму двигуна групи, який має найбільший пусковий струм.

3.2. Вибір електромагнітних пускачів

Електромагнітним пускачем називається комутаційний апарат, призначений для вмикання і вимикання трифазних асинхронних електродвигунів при напрузі до 660 В змінного струму частотою 50, 60 Гц. Пускачі виготовляються на номінальні струми головних контактів від 6,3 до 200 А. Загальний вигляд електромагнітного пускача представлено на рисунку 3.



Рис. 3. Електромагнітні пускачі

Електромагнітні пускачі вибирають за номінальною напругою пускача $U_{\text{мп.ном.}}$, яка повинна бути не нижчого номінальної напруги мережі $U_{\text{м.ном.}}$:

$$U_{мп.ном} \geq U_{мер.ном} \cdot \quad (3.6)$$

Номинальний робочий струмом вибирають таким чином, щоб номінальний робочий струм пускача $I_{мп.р.ном}$ був не меншим номінального струму керованого двигуна $I_{дв.ном}$:

$$I_{мп.р.ном} \geq I_{дв.ном} \cdot \quad (3.7)$$

За призначенням розрізняють електромагнітні пускачі: реверсивний, нереверсивний, для пуску електродвигунів з перемиканням обмоток із зірки на трикутник, з апаратом захисту (теплове реле, позисторний захист) чи без нього (рис. 4);



Рис. 4. Електромагнітні пускачі:
а) без апарату захисту; б) з тепловим реле

За ступенем захисту від дії навколишнього середовища і наявністю кнопок “Пуск” і “Стоп” та сигнальних ламп;
За кількістю і видом контактів допоміжного кола;
За кліматичним виконанням і категорією розміщення;
За родом струму і напругою втягувальної котушки пускача. При цьому номінальна напруга котушки $U_{кот.ном}$ повинна дорівнювати напрузі кола керування пускачем $U_{кер.}$:

$$U_{кот.ном} = U_{кер.} \cdot \quad (3.8)$$

За стійкістю контактів головного кола проти комутаційних спрацювань залежно від частоти вмикань пускача, категорії застосування і необхідного строку його служби (6-10 років).

Так, при застосуванні апаратів в категорії АС-3 і частоті вмикань за добу більше 400 приймаються пускачі виконання А, при частоті вмикань від 120 до 400 циклів за добу – виконання Б і при частоті вмикань менше 120 циклів за добу – виконання В.

При виборі пускачів для роботи у повторно-короткочасному режимі, допустима частота вмикань апарата за годину $Z_{доп.}$ відповідно до категорії застосування повинна бути не меншою за фактичну $Z_{ф.}$:

$$Z_{доп.} \geq Z_{ф.} \quad (3.9)$$

Вибраний пускач потрібно перевірити за умовами комутації, щоб пусковий струм двигуна $I_{дв.пуск.}$ не перевищував шестикратного робочого струму пускача $I_{мп.р.ном.}$:

$$6I_{мп.р.ном.} \geq I_{дв.пуск.} \quad (3.10)$$

3.3. Вибір плавких запобіжників



Плавкі запобіжники призначені для захисту електроустановок від струмів короткого замикання і перевантажень (рис. 5). Завдяки простоті конструкції та обслуговування, малим розмірам, здатності вимикати великі струми і невисокій вартості, плавкі запобіжники мають дуже широке застосування.

Рис. 5. Плавкий запобіжник

Плавкі запобіжники, призначені для захисту електродвигунів, повинні бути вибрані так, щоб надійно спрацьовували при коротких замиканнях у захищуваних ділянках електроприводів і не вимикали електродвигуни при проходженні нормальних робочих струмів, у тому числі пускових.

Номінальна напруга запобіжника $U_{зп.ном}$ повинна бути не меншою номінальної напруги мережі $U_{мер.ном}$:

$$U_{зп.ном} \geq U_{мер.ном} \quad (3.11)$$

Номінальний струм основи $I_{ос.ном}$ повинен бути не меншим номінального струму плавкої вставки $I_{вс.ном}$, а останній – не меншим розрахункового струму $I_{вс.роз.}$, тобто:

$$I_{ос.ном} \geq I_{вс.ном}; \quad I_{вс.ном} \geq I_{вс.роз.} \quad (3.12)$$

Розрахунковий струм плавкої вставки запобіжника, призначеного для захисту одного двигуна, визначають з виразу:

$$I_{вс.роз.} = \frac{I_{дв.ном.} \cdot K_i}{\alpha}, \quad (3.13)$$

де $I_{дв.ном.}$ – номінальний струм двигуна, А;

K_i – кратність пускового струму двигуна;

α – коефіцієнт, який залежить від умов пуску двигуна. При легких нечастих пусках (тривалість пуску не більше 10 с) $\alpha = 2,5$; при важких умовах пуску $\alpha = 2-1,6$.

Розрахунковий струм плавких вставок запобіжників, призначених для захисту групи електродвигунів, визначається для найважчої ситуації, коли запускається двигун з найбільшим пусковим струмом при працюючих решті двигунів:

$$I_{вс.роз.} = K_0 \sum_1^{n-1} I_{дв.ном.} \cdot K_3 + \frac{I_{дв.ном.1} \cdot K_{i1}}{\alpha_1} \quad (3.14)$$

де K_0 – коефіцієнт одночасності роботи двигунів групи;

$\sum_1^{n-1} I_{\text{дв.ном.}}$ – сумарний струм групи одночасно працюючих

двигунів, A ;

K_3 – коефіцієнт завантаження кожного двигуна групи;

$I_{\text{об.ном.1}}$ і K_{i1} – відповідно номінальний струм, A , і кратність пускового струму двигуна групи, який має найбільший пусковий струм;

α_1 – коефіцієнт, який враховує умови пуску двигуна з найбільшим пусковим струмом.

Вибрані запобіжники потрібно перевіряти за умовами короткого замикання з двох причин. Якщо кратність струму короткого замикання по відношенню до номінального струму плавкої вставки не перевищує 3, то час вимикання запобіжника може бути занадто великим, що недопустимо з точки зору безпеки обслуговуючого персоналу та нагрівання проводів. З іншого боку, занадто великий струм короткого замикання, який перевищує граничний струм вимикання запобіжника, може призвести до його руйнування. Таким чином, умови перевірки запобіжника при короткому замиканні запишуться:

$$\frac{I_{\text{к.з}}}{I_{\text{вс.ном.}}} \geq 3; \quad I_{\text{к.з}} \leq I_{\text{зн.гр.}} \quad (3.15)$$

Вибір плавких запобіжників для захисту напівпровідникових приладів здійснюється за повним інтегралом струму, що вимикається $W_{\text{зн.}} = \int i^2 dt$. Надійний захист забезпечується, якщо повний інтеграл струму запобіжника $W_{\text{зн.}}$ менший на 20-50 % повного інтеграла струму захищеного напівпровідникового приладу $W_{\text{пр.}}$:

$$W_{\text{зн.}} = \frac{W_{\text{пр.}}}{1,2 \dots 1,5}. \quad (3.16)$$

3.4. Вибір електричних реле

Реле – це електричний апарат, в якому при плавній зміні вхідного (керуючого) параметра до певної наперед заданої величини відбувається стрибкоподібна зміна вихідного (керованого) параметра. Хоча б один з цих параметрів повинен бути електричним.



Рис 6. Електричні реле

В електроприводах найчастіше застосовують реле струму, реле напруги, проміжні реле і реле часу.

Реле максимального струму використовують як захисні реле електродвигунів. Їх обмотки вмикають в головні кола двигунів, а розмикаючі контакти – в кола керування. При цьому струм уставки реле $I_{уст.}$ вибирається за умовою:

$$I_{уст.} \leq 0,75I_{пуск.} \quad (3.17)$$

де $I_{пуск}$ – пусковий струм двигуна.

Струм повернення реле $I_{пов}$ вибирається за умовою:

$$I_{пов.} \leq 1,3I_{дв.ном.} \quad (3.18)$$

Уставка реле вибирається за умовою:

$$I_{уст.} \geq (1,3 \div 1,5) I_{пуск}. \quad (3.19)$$

Реле напруги використовують для контролю напруги та як проміжні реле.



Його використовують, якщо потрібно контролювати зниження напруги. При цьому контакти реле вимикають установку при зниженні напруги мережі нижче допустимої.

Контакти реле напруги повинні витримувати пускові струми обмоток пускачів і контакторів, які знаходяться в межах $(7 \div 12) I_{роб.}$

Рис 8. Реле напруги

Для захисту установок від небезпечного підвищення напруги використовують реле максимальної напруги. Їх напруга спрацювання повинна бути більшою номінальної напруги захищеної установки:

$$U_{спр.р.} > U_{ном.} \quad (3.20)$$

Проміжні реле використовуються як підсилювачі первинних сигналів або для розмноження кіл керування. Існують реле з однією, двома (вмикаючою і утримуючою) або трьома (вмикаючою, утримуючою та вимикаючою) обмотками, без затримки часу спрацювання та з затримкою часу спрацювання або відпускання.



Проміжні реле вибираються за родом струму, напругою і струмом обмотки, напругою і струмом контактів, наявністю затримки часу, кількістю і видом контактів, способом монтажу, способом приєднання провідників, ступенем захисту від дії оточуючого середовища.

Рис 9. Проміжне реле

В системах захисту і автоматики часто потрібна витримка часу між спрацюванням двох або кількох апаратів або створення певної часової послідовності операцій. Для створення таких витримок існують реле часу.



Рис 10. Реле часу

Реле часу вибирають за родом струму і величиною напруги на вході, необхідним діапазоном регулювання витримок часу, конструктивним виконанням, комутаційною здатністю вихідних елементів.

Вибір виду реле часу проводиться залежно від принципу роботи автоматичних пристроїв, умов експлуатації, надійності та вартості реле.

Перелік посилань

1. 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.
2. Синявський О.Ю. Електропривод: Підручник / О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, І.П. Ільїчов, Ю.М. Хандола; За ред. О.Ю. Синявського. – К.: 2012.
3. Електропривод у питаннях і відповідях: посібник “Електропривод у питаннях і відповідях” / Лисиченко М.Л., Савченко П.І., Тищенко О.К., Гузенко В.В. — Х: ХНТСГ; Факт, 2012. – 500 с. ISBN 978-966-637-713-8
4. Вибір електродвигунів для машин і механізмів, які забезпечують виробничі процеси у сільському і лісовому господарстві / Ю.О. Ромасевич, В.М. Рибалко, Н.В. Матухно. — К.: НУБІП, 2015. – 75 с.
5. Основи електропривода: Методичні вказівки по розрахунку і побудові механічних характеристик двигунів постійного струму для студентів 3 курсу напряму підготовки – бакалавр / М.Л. Лисиченко, П.І. Савченко, В.В. Гузенко – Х.: ХНТУСГ, 2013. – 39 с.
6. Електропривод: Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічного завдання по розрахунку і побудові механічних характеристик двигунів постійного струму незалежного збудження для студентів 4 курсу напряму підготовки – бакалавр. / М.Л. Лисиченко, П.І. Савченко, В.В. Гузенко – Х.: ХНТУСГ, 2013. – с.
7. Основи електропривода: Методичні вказівки для виконання розрахунково-графічної роботи №3 для студентів 4 курсів напряму підготовки – бакалавр / М.Л. Лисиченко, П.І. Савченко, В.В. Гузенко — Харків: ХНТУСГ, 2014. – 44 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисциплін: “ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА”
“ЕЛЕКТРОПРИВОД”
“АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД”

Хандола Юрій Миколайович
Сорокін Максим Сергійович
Назаренко Ольга Юріївна
Гузенко Віталій Вікторович

Для студентів 3, 4 курсів денної форми навчання, рівня вищої освіти – бакалавр:
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»,
151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»,
163 «Біомедична інженерія».

Кафедра автоматизованих електромеханічних систем

Відповідальний за випуск: В.В. Гузенко

Комп’ютерний набір та верстка: О.Ю. Назаренко

Підп. до друку 7.03.2019 р.

Затверджено № 7. від 28.03.2019 р.

Формат паперу 60×84 1/16 Обл.-вид. арк..1,5

Тираж 100

Ризограф TR 1510 № 80654645

ХНТУСГ, 61002, м. Харків, вул. Різдяна 19, кім. 210

Підготовано та надруковано кафедрою автоматизованих електромеханічних систем навчально-наукового інституту енергетики та комп’ютерних технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка