

УКРАЇНА

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Кафедра електроприводу та електротехнологій

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**щодо виконання курсової роботи
з дисциплін «Електропривод сільськогосподарських машин,
агрегатів та потокових ліній», «Електропривод виробничих
машин і агрегатів»**

для студентів факультету енергетики і автоматики

КИЇВ – 2010

УДК 631:371:62(73)

Наведено основні положення і методика виконання та оформлення курсової роботи з дисциплін «Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній», «Електропривод виробничих машин і механізмів».

Рекомендовано Вченою радою факультету енергетики і автоматики НУБіП.

Укладачі: **Ю.М. Лавріненко, О.Ю. Синявський, В.В. Савченко**

Рецензенти: **М.О. Чуєнко, А.О. Омельчук**

Навчальне видання

Методичні вказівки

щодо виконання курсової роботи
з дисциплін «Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів
та потокових ліній», «Електропривод виробничих машин і агрегатів»

для студентів факультету енергетики і автоматики

Укладачі: ЛАВРІНЕНКО ЮРІЙ МИКОЛАЙОВИЧ,

СИНЯВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ

САВЧЕНКО ВІТАЛІЙ ВАСИЛЬОВИЧ

Відповідальний за випуск **Л.С. Червінський**

Зав. Видавничим центром НУБіП А.П. Колесніков

Редактор І.В. Сикотюк

Підписано до друку 2.04.10

Ум. друк. арк. 1,9.

Наклад 100 пр.

Формат 60x84 1/16

Обл.-вид. арк. 2,1.

Зам. № 2431

Видавничий центр НУБіП.

030041, Київ, вул. Героїв Оборони, 15.

Вступ

Завданням курсової роботи є закріплення студентами одержаних теоретичних знань з електропривода і набуття практичних навичок з проектування електроприводів сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній.

Для виконання курсової роботи видається завдання кафедри, яке визначає перелік питань, які потрібно вирішити, та визначає терміни їх виконання. Бланк завдання розміщується на першій сторінці розрахунково-пояснювальної записки.

Курсова робота складається з розрахунково-пояснювальної записки обсягом 20 – 25 с з вкладками схем та графіків.

Розрахунково-пояснювальна записка передбачає такі розділи:

1. Вступ.
2. Короткий опис функціональної і кінематичної схем установки.
3. Обробка навантажувальної діаграми установки.
4. Попередній вибір електродвигуна за потужністю та частотою обертання.
5. Перевірка попередньо вибраного електродвигуна.
 - 5.1. Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску.
 - 5.1.1. Розрахунок і побудова механічної характеристики електродвигуна.
 - 5.1.2. Розрахунок і побудова механічної характеристики робочої машини.
 - 5.1.3. Визначення тривалості пуску електродвигуна і побудова його навантажувальної діаграми.

5.1.4. Перевірка вибраного двигуна за тепловим режимом під час пуску.

5.2. Перевірка вибраного двигуна на пусковий момент.

5.3. Перевірка вибраного двигуна на перевантажувальну здатність.

6. Вибір електродвигуна за електричною модифікацією, конструктивним та кліматичним виконанням, ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

7. Опис функцій, розробка (або вибір) та опис роботи схеми керування електроприводом установки.

8. Вибір апаратів керування і захисту, інших елементів схеми автоматизованого керування, низьковольтного комплектного пристрою та силових електропроводок.

9. Перелік елементів електричної схеми.

Перелік схем:

1. Функціональна схема робочої машини.

2. Кінематична схема установки.

3. Принципіальна схема автоматизованого керування електроприводом.

4. Схема електричних з'єднань одного комплекту електрообладнання (шафи, пульта керування тощо).

Розрахунково-пояснювальну записку потрібно друкувати на одному боці сторінок стандартного білого паперу формату А4 (210x297 мм). При комп'ютерному наборі слід застосовувати шрифт Times New Roman, його розмір – 14 пт, міжрядковий інтервал – полуторний.

Текст розрахунково-пояснювальної записки обмежується рамкою. Відстань сторін рамки від країв аркуша має дорівнювати: з

лівого боку – 20 мм, справа, зверху і знизу – 5 мм. Відстань від рамки до тексту повинна бути не менше: зліва – 5 мм, справа – 3 мм, зверху і знизу – 10 мм.

Вписувати у друкований текст курсової роботи окремі іншомовні слова, формули, умовні позначення можна чорнилом, тушшю, пастою лише чорного кольору. При цьому щільність вписаного тексту має бути наближеною до щільності основного тексту.

Всі креслення треба виконувати згідно з вимогами діючих Державних стандартів.

1. Загальні вимоги до проектування електроприводів

Сучасний виробничий агрегат, як правило, складається з робочої машини та автоматизованого електропривода, які тісно пов'язані між собою конструктивно. Тому надійну, безпечну та економічно вигідну роботу агрегату можна забезпечити лише за умови, якщо його електропривод спроектований з урахуванням усіх особливостей виробничого процесу та приводних характеристик і режимів роботи машин.

Проектування електропривода здебільшого здійснюють одночасно з проектуванням робочої машини у такій послідовності.

1. Розробляють технічне завдання на проектування електропривода. У технічному завданні вказують: а) особливості виробничого процесу та послідовність виконання окремих його операцій; б) конструктивні дані робочої машини (кількість приводних валів та частоти їх обертання, передавальні відношення передач, моменти інерції обертових частин та маси і лінійні швидкості частин, які рухаються поступально, тощо); в) режим роботи і

навантажувальну діаграму машини; г) характеристику оточуючого середовища, в якому буде працювати електропривод, та інші дані.

2. Визначають рід струму та напругу джерела живлення з врахуванням умов електропостачання та інших факторів (наприклад, охорони праці).

3. Визначають потужність електродвигуна, потрібного для привода робочої машини.

4. Вибирають електродвигун за родом струму, напругою, режимом роботи, електричною модифікацією, конструктивним виконанням та іншими ознаками.

5. Визначивши функції системи керування, розробляють принципіальну електричну схему керування електроприводом.

6. Вибирають апарати керування і захисту та інше електрообладнання, передбачене принципіальною електричною схемою, низьковольтний комплектний пристрій (НКП), силові проводки.

7. Розробляють схему з'єднання і виконують креслення окремих (нетипових) вузлів електропривода.

8. Складають специфікацію та оцінюють економічність вибраного привода.

У тих випадках, коли на попередніх етапах проектування не вдається вибрати найраціональніший тип привода, доводиться паралельно вести проектування кількох варіантів. При цьому остаточний вибір типу привода здійснюють на основі порівняння техніко-економічних показників цих варіантів.

2. Загальна методика вибору електродвигуна

Електродвигун, потрібний для привода робочої машини, вибирають за такими основними ознаками: родом струму; напругою; режимом роботи; частотою обертання; потужністю; електричною модифікацією; конструктивним виконанням і способом монтажу; кліматичним виконанням і категорією розміщення; ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих або рухомих частин, що знаходяться всередині його корпусу, та від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх тіл і води.

За родом струму електродвигун вибирають відповідно до роду струму електричної мережі, від якої він буде живитись, та вимог робочої машини до механічних характеристик двигуна. У сільському господарстві використовують мережі змінного струму, тому і електродвигуни, як правило, вибирають змінного струму. Двигун постійного струму застосовують лише тоді, коли робоча машина потребує плавного і в широких межах регулювання швидкості або спеціальних механічних характеристик двигуна, які не можуть бути забезпечені при використанні двигунів змінного струму. Живлення такого двигуна здійснюють від електромережі змінного струму через відповідний перетворювальний пристрій.

За напругою електродвигун вибирають так, щоб його номінальна напруга відповідала напрузі електромережі, в яку він буде вмикатися.

За режимом роботи (тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний та ін.) двигун вибирають відповідно до режиму роботи машини, для привода якої він призначений. В окремих випадках для короткочасного режиму роботи можна вибрати двигун, розрахований на тривалий режим роботи.

За номінальною потужністю електродвигун вибирають згідно з навантажувальною діаграмою робочої машини за методикою, наведеною нижче.

За частотою обертання двигун вибирають залежно від потрібної частоти обертання приводного вала робочої машини. Якщо ця частота не дорівнює жодній із каталожних номінальних частот обертання електродвигунів і пряме з'єднання двигуна з машиною за допомогою муфти неможливе, то вибирають двигун з більшою частотою обертання і застосовують пасову, зубчасту чи будь-яку іншу передачу. При цьому треба пам'ятати, що тихохідні двигуни порівняно з швидкохідними більш металомісткі, мають нижчі енергетичні показники. Тому, їх слід застосовувати лише при безпосередньому з'єднанні з машиною або тоді, коли застосування двигуна з більшою частотою обертання ускладнює конструкцію привода. При відомій кінематичній схемі привода частоту обертання двигуна вибирають відповідно до неї.

За електричною модифікацією (з підвищеним пусковим моментом, з підвищеним ковзанням, багатошвидкісний, з фазним ротором, для короткочасного режиму роботи, однофазний) асинхронний двигун вибирають залежно від моменту зрушення робочої машини, характеру навантаження двигуна і величини махових мас системи „електродвигун – робоча машина”, потреби в регулюванні швидкості та гальмуванні системи. Двигуни з підвищеним пусковим моментом вибирають для привода машин з великими моментами зрушення та маховими масами (скребкові конвеєри для прибирання гною, дробарки кормів, поршневі насоси тощо); двигуни з підвищеним ковзанням – для привода машин з різко змінним (ударним) навантаженням (сіно-соломопреси, компресори тощо), а також машин, які працюють у повторно-короткочасному режимі;

багатошвидкісні – для привода машин, які потребують ступінчастого регулювання швидкості; двигуни з фазним ротором – для привода машин, що потребують плавного регулювання швидкості (наприклад, у стендах для випробування та обкатування автотракторних двигунів), а також машин, що мають особливо важкі умови пуску (сепаратори, центрифуги); двигуни для короткочасного режиму роботи – для привода робочих машин, які працюють у короткочасному режимі роботи.

За конструктивним виконанням і способом монтажу електродвигун вибирають залежно від конструктивних особливостей робочої машини і передавального пристрою та їх розташування на місці встановлення.

Класифікація конструктивних виконань двигунів за способом монтажу наведена в ГОСТ 2479-79. Структура умовного позначення містить дві букви (ІМ) та чотири цифри.

Перша цифра визначає конструктивне виконання: 1 – двигуни на лапах з підшипниковими щитами; 2 – двигуни на лапах, з підшипниковими щитами та з фланцем на підшипниковому щиті; 3 – двигуни без лап, з підшипниковими щитами, з фланцем на одному щиті; 4 – двигуни без підшипникових щитів.

Цифри 6–9 до двигунів основного виконання не застосовуються. Спеціальні серії двигунів можуть мати цифри 7 – двигуни з двома стояковими підшипниками (обкатувально-гальмівний стенд), 9 – машини спеціальної групи (заглибні електродвигуни, двигуни серій 4АПА, АИРП для привода осьових вентиляторів, двигуни для ручних електричних машин тощо).

Друга та третя цифри означають спосіб монтажу і вказують на положення двигуна в просторі: горизонтально лапами вниз,

вертикально валом вгору або вниз, на стінці, на стелі тощо. Цифри 08 у деяких виконаннях означають, що двигун може працювати при будь-якому положенні вала в просторі (ІМ1081).

Четверта цифра означає виконання вихідного кінця вала двигуна: 0 – без вихідного кінця вала; 1 – з одним циліндричним; 2 – з двома циліндричними; 3 – з одним конічним; 4 – з двома конічними. Виконання валів з позначенням цифрами 5–9 в асинхронних двигунах основного виконання не передбачено. Основним виконанням валів у двигунів серії АІР загального призначення є 1 – з одним циліндричним кінцем.

За кліматичним виконанням і категорією розміщення двигун вибирають відповідно до кліматичних умов району, в якому він буде експлуатуватися, та характеристики місця його розташування.

Кліматичне виконання електрообладнання позначають буквами: У – для районів з помірним кліматом; ХЛ – холодним кліматом; ТВ – тропічним вологим; ТС – тропічним сухим; Т – як з сухим, так із тропічним вологим кліматом, О – загальнокліматичне виконання.

Категорія розміщення електрообладнання позначається цифрою: 1 – для роботи на відкритому повітрі; 2 – для роботи у приміщеннях з порівняно вільним доступом зовнішнього повітря, де коливання температури і вологості повітря мало відрізняються від коливань на відкритому повітрі; 3 – для роботи у приміщеннях з природною вентиляцією без штучного мікроклімату; 4 – для роботи у приміщеннях із штучним мікрокліматом; 5 – для роботи у приміщеннях з підвищеною вологістю.

За кліматичним виконанням та категорією розміщення електродвигуни основного виконання мають такі позначення:

У3 – для роботи в нормальному середовищі: температура навколишнього середовища від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря не більше 98%, запиленість повітря до 2 мг/м^3 (IP23) та до 10 мг/м^3 (IP44), навколишнє середовище вибухобезпечне, без струмопровідного пилу, висота над рівнем моря до 1000 м;

У2 – вологоморозостійке виконання (для роботи під навісом): температура від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, відносна вологість до 100 %, двигун має подвійне просочування ізоляції, кращу герметизацію з боку ввідного пристрою та вала;

У1 – виконання двигуна, призначеного для роботи на відкритому повітрі з додатковим впливом атмосферних опадів, сонячної радіації, пилу та інших факторів при різких змінах температури повітря.

Для приміщень з підвищеною вологістю (теплиці, приміщення для переробки молока тощо) рекомендується застосовувати двигуни виконання У5.

Випускаються також спеціалізовані виконання двигунів за захистом від впливу навколишнього середовища. До них належать двигуни:

хімостійкого виконання (позначення Х1, Х2), які допускають наявність в навколишньому середовищі хімічно активного пару хлору до $0,001\text{ г/м}^3$, аміаку – до $0,02\text{ г/м}^3$, сірчистого ангідриду – до $0,02\text{ г/м}^3$;

пилозахищеного виконання (позначення УПУЗ), призначені для експлуатації в приміщеннях, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей, а запиленість приміщень може досягати 100 г/м^3 (комбикормові заводи, деревообробні цехи, млини, елеватори, зерносклади);

сільськогосподарського виконання (позначення СУ1, СУ2), призначені для роботи на відкритому повітрі та в приміщеннях з відносною вологістю до 100 % при температурі +25 °С, допускають наявність аміаку до 0,03 г/м³, сірководню до 0,03 г/м³, соломистого пилу до 1,16 г/м³ (тваринницькі та птахівничі приміщення). Наявність снігу та льоду не повинно заважати обертанню ротора. Двигуни морозостійкі, допускають обробку дезінфікуючими розчинами та аерозолями, ступінь захисту IP55.

За ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих або рухомих частин, що знаходяться всередині корпусу двигуна, і від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх тіл і води двигун вибирають відповідно до характеристики навколишнього середовища, в якому він буде працювати.

Електродвигуни основного виконання виготовляються зі ступенями захисту: IP23 (захищене виконання) – характеризує захист від випадкового дотику пальців до струмоведучих частин, що знаходяться під оболонкою та захист від проникнення твердих тіл діаметром більше 12,5 мм (перша цифра 2), захист від крапель води або дощу, який падає під кутом до 60° від вертикалі (друга цифра 3); IP44 (закрите виконання) – захист від проникнення під оболонку твердих тіл діаметром більше 1 мм, захист від бризок води будь-якого напрямку; IP54 (закрите виконання) – захист від пилу, який не може проникнути під оболонку в шкідливих кількостях; IP55 – крім того, захист від струменів води будь-якого напрямку.

3. Попередній вибір електродвигуна за потужністю і частотою обертання

Вихідними даними для вибору електродвигуна за потужністю та

подальших його перевірок є навантажувальна діаграма і механічна характеристика робочої машини, кінематична схема привода та моменти інерції системи електродвигун – робоча машина.

При виконанні курсової роботи функціональну та кінематичну схеми установки та їх опис беруть із довідкової літератури [13,15]. При цьому вказують технічну характеристику робочої машини.

Вибір потужності електродвигунів проводять за наявності навантажувальної діаграми. Навантажувальною діаграмою робочої машини називається залежність моменту або потужності статичних опорів робочої машини від часу, тобто $M_c = f(t)$, $P_c = f(t)$. Навантажувальною діаграмою електродвигуна (привода) називають залежність струму, моменту або потужності електродвигуна від часу, тобто $I = f(t)$, $M = f(t)$, $P = f(t)$.

Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність у процесі роботи не змінюються (рис.1) або змінюються у часі періодично з певною закономірністю, можна з достатньою для практики точністю розрахувати аналітично.

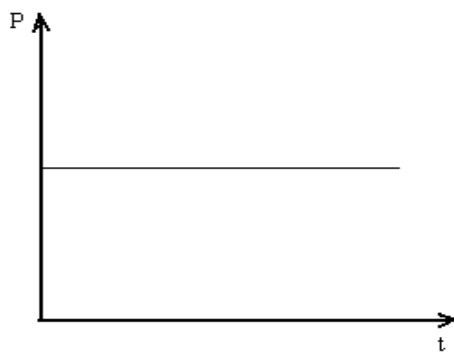


Рис.1. Навантажувальна діаграма насосів і вентиляторів

Так, потужність насоса розраховують за формулою:

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

де Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина рідини, що подається насосом, $\text{кг}/\text{м}^3$; H – розрахунковий напір, м ; g – прискорення вільного падіння, $g =$

$9,81\text{м}/\text{с}^2$; $\eta_{нас}$ – ККД насоса.

При побудові навантажувальних діаграм вентиляторів їх потужність розраховують за формулою:

$$P_e = \frac{L p 10^{-3}}{\eta_e}, \quad (2)$$

де L – подача вентилятора, м³/с; p – напір вентилятора, Па; η_e – ККД вентилятора.

Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність змінюються у часі випадково, знімають експериментально за допомогою самописних приладів.

Обробку навантажувальної діаграми виконують методом еквівалентних величин. Для цього:

1) навантажувальну діаграму $P=f(t)$, $M=f(t)$ або $I=f(t)$ будують на окремому аркуші в масштабі (рис.2);

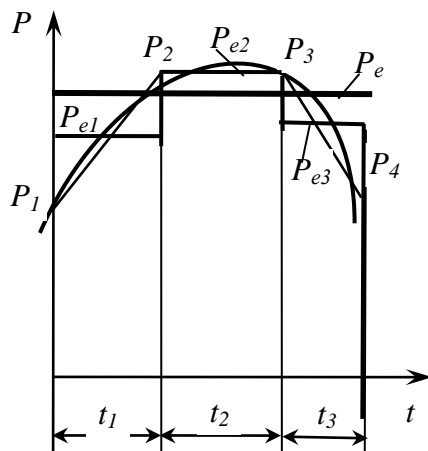


Рис.2. Навантажувальна діаграма та її обробка

2) плавну криву діаграми замінюють ламаною і поділяють її на окремі ділянки з тривалостями t_1, t_2, t_3, t_4 і т.д.;

3) визначають еквівалентні значення потужності, моменту або струму на кожній ділянці діаграми і будують ступінчастий графік. При трапецеїдальній формі ділянки

еквівалентна потужність визначиться так:

$$P_{e.дiл.} = \sqrt{\frac{P_1^2 + P_1 P_2 + P_2^2}{3}}, \quad (3)$$

при трикутній ділянці:

$$P_{e.дiл.} = \frac{P}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

при прямокутній ділянці:

$$P_e = P; \quad (5)$$

4) визначають еквівалентну за умовами нагрівання потужність електродвигуна за формулою:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_{e1}^2 t_1 + P_{e2}^2 t_2 + P_{e3}^2 t_3 + P_{e4}^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}, \quad (6)$$

де P_{e1} , P_{e2} , P_{e3} , P_{e4} – еквівалентні потужності на ділянках графіка, кВт, у відповідні періоди роботи тривалістю t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , хв.

За такою ж формулою визначають еквівалентні значення моменту і струму.

За навантажувальною діаграмою визначають режим роботи електродвигуна.

Номінальну потужність двигуна з умови допустимого нагрівання під час роботи для тривалого режиму роботи (S1) з постійним навантаженням визначають за умовою:

$$P_{дв.ном} \geq P_{дв.розр}, \quad (7)$$

де $P_{дв.розр}$ – розрахункова потужність двигуна, яка визначається за формулою:

$$P_{дв.розр} = \frac{K_{зан} P_M}{\eta_{пер}}, \quad (8)$$

де $K_{зан}$ – коефіцієнт запасу (табл.1 дод. А); $\eta_{пер}$ – ККД механічного передавального пристрою.

Номінальну потужність двигуна з умови допустимого нагрівання під час роботи для тривалого режиму роботи (S1) зі змінним навантаженням визначають за умовами:

а) якщо потужність виміряна на валу двигуна:

$$P_{дв.ном} \geq P_e; \quad (9)$$

б) якщо виміряна потужність, споживана двигуном з мережі $P_I=f(t)$:

$$P_{\text{дв.ном.}} \geq P_e \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (10)$$

де $\eta_{\text{дв}}$ – номінальний ККД двигуна потужністю P_e ;

в) якщо навантажувальна діаграма задана у вигляді $M=f(t)$:

$$M_{\text{дв.ном.}} \geq M_e ; \quad (11)$$

г) якщо навантажувальна діаграма задана у вигляді $I=f(t)$:

$$I_{\text{дв.ном.}} \geq I_e . \quad (12)$$

Для короткочасного режиму роботи (S2) випускаються спеціальні електродвигуни АИР...Кр1, АИР...Кр2, АИР...Кр3, потужність яких вибирають за умовами:

$$P_n \geq P_k , \quad t_{\text{к.кат}} \geq t_{\text{к.ф}} , \quad (13)$$

де P_k – потужність, визначена за навантажувальною діаграмою; $t_{\text{р.кат}}$ – каталогове значення тривалості роботи; $t_{\text{р.ф}}$ – фактичне значення тривалості роботи.

Для короткочасного режиму роботи можна використовувати двигуни, призначені для тривалого режиму роботи, які вибирають за умовами:

$$I_n \geq \frac{I_e}{p_m} ; \quad M_n \geq \frac{M_e}{p_m} ; \quad P_n \geq \frac{P_e}{p_m} , \quad (14)$$

де I_e, M_e, P_e – еквівалентні величини, визначені за навантажувальними діаграмами; p_m – коефіцієнт механічного перевантаження:

$$p_m = \sqrt{\frac{I}{I - e^{-\frac{t_{\text{к.ф}}}{T_n}}}} , \quad (15)$$

де $t_{\text{к.ф}}$ – фактична тривалість короткочасної роботи, хв; T_n – стала часу нагрівання двигуна, хв.

Для повторно-короткочасного режиму роботи (S3) виготовляють електродвигуни з підвищеним ковзанням АИРС, які вибирають за умовою:

$$P_n \geq P_e; TB_{cm} \geq TB_\phi, \quad (16)$$

де P_e – еквівалентна потужність, визначена за навантажувальною діаграмою за час роботи двигуна t_p ; TB_{cm} – стандартна тривалість вмикання; TB_ϕ – фактична тривалість вмикання.

Тривалість вмикання двигуна визначають за формулою:

$$TB \% = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100 \% = \frac{t_p}{t_u} \cdot 100 \%, \quad (17)$$

де t_0 – тривалість паузи; t_u – тривалість циклу.

Для повторно-короткочасного режиму роботи можна вибрати двигун тривалого режиму роботи. Двигун тривалого режиму роботи, що працює в повторно-короткочасному режимі, вибирають за умовою:

$$P_n \geq P_e \sqrt{TB_\phi}. \quad (18)$$

За частотою обертання двигун вибирають, враховуючи рекомендації, наведені вище.

За визначеними значеннями потужності і частоти обертання з каталогу [13, 14] попередньо вибирають електродвигун і записують його паспортні дані:

$$U_n, P_n, n_n, I_n, \eta_n, \cos \varphi_n, \frac{M_n}{M_n}, \frac{M_{\min}}{M_n}, \frac{M_{\max}}{M_n}, \frac{I_n}{I_n}, j_{\text{рот}},$$

масу m , клас ізоляції, швидкість наростання температури обмотки v_t [10].

4. Перевірка вибраного двигуна

4.1. Перевірка вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час пуску

Електродвигун за тепловим режимом під час пуску перевіряють за умовою:

$$\tau_{\text{доп}} \geq \tau_{\text{факт}} = v_t \cdot t_n, \quad (19)$$

де $\tau_{\text{доп}}$ – допустиме перевищення температури обмотки над температурою охолоджуючого середовища, °С (для класу ізоляції В – 80 °С, для класу F – 100 °С); $\tau_{\text{факт}}$ – фактичне перевищення температури в кінці періоду пуску електродвигуна, °С; v_t – швидкість наростання температури обмотки при загальмованому роторі, °С/с; t_n – час пуску електродвигуна, с. Для двигунів АИР $\tau_{\text{доп}}$ приймають 80 °С.

Час пуску електродвигуна визначають графоаналітичним методом [1,2,3]. При цьому розв'язують рівняння руху електропривода в кінцевих приростах:

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{д}} - M_{\text{с}} = j \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (20)$$

де $M_{\text{дин}}$ – динамічний момент, Н·м; $M_{\text{д}}$ – момент електродвигуна, Н·м; $M_{\text{с}}$ – момент статичних опорів робочої машини, зведений до вала електродвигуна, Н·м; j – момент інерції системи “електродвигун – робоча машина”, зведений до вала електродвигуна, кг·м²; $\Delta\omega$ – приріст кутової швидкості, рад/с; Δt – приріст часу пуску, с.

Розрахунок проводять у такій послідовності.

Користуючись каталоговими даними, розраховують механічну характеристику електродвигуна M_o і будують її в першому квадранті прямокутної системи координат (рис.3).

Механічну характеристику електродвигуна при номінальній напрузі живлення розраховують за координатами п'яти характерних точок:

1) точка синхронної швидкості: $\omega=\omega_o, (s=0), M=0$.

$$\omega_o = \frac{\pi n_o}{30}, \quad (21)$$

де n_o – синхронна частота обертання, об/хв;

2) точка номінальної швидкості: $\omega=\omega_{ном}, (s=s_n), M=M_n$.

$$s_n = \frac{n_o - n_n}{n_o}, \quad (22)$$

де s_n – номінальне ковзання; n_n – номінальна частота обертання;

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}; \quad (23)$$

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}, \quad (24)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна, кВт;

3) точка критичного моменту: $\omega=\omega_k, (s=s_k), M=M_k$.

$$s_k = \frac{s_n + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_n \frac{\mu_k - 1}{\mu_1 - 1}}}, \quad (25)$$

де $\mu_1 = \frac{\mu_k}{\mu_n}, \quad (26)$

μ_k – кратність максимального моменту двигуна; μ_n – кратність пускового моменту двигуна;

$$\omega_k = \omega_0(1 - s_k); \quad (27)$$

$$M_k = \mu_k \cdot M_n. \quad (28)$$

Якщо каталожні значення кратностей моментів μ_k і μ_n рівні між собою, то розрахунок за формулою (25) неможливий і значення критичного ковзання s_k можна прийняти з таблиці роботи [10] для двигуна серії 4А відповідного типорозміру;

4) точка мінімального моменту: $\omega = \omega_{\min}$, ($s_{\min} = 0,8$), $M = M_{\min}$.

$$\omega_{\min} = \omega_0(1 - s_{\min}); \quad (29)$$

$$M_{\min} = \mu_{\min} \cdot M_n; \quad (30)$$

5) точка пускового моменту: $\omega = 0$, ($s = 1$), $M = M_n$.

$$M_n = \mu_n \cdot M_n. \quad (31)$$

Згідно з ГОСТ 183-84 допускається виготовляти електродвигуни, в яких критичний, мінімальний і пусковий моменти можуть бути меншими від каталогових значень відповідно на 10, 20 і 15 %. Із врахуванням цього слід визначити уточнені значення моментів:

$$M'_k = 0,9 M_k; \quad M'_{\min} = 0,8 M_{\min}; \quad M'_n = 0,85 M_n,$$

нанести їх на графік і через одержані точки та точки $M'_n = M_n$ і $M' = 0$ провести плавну криву $s = f(M'_\delta)$.

Оскільки момент асинхронного електродвигуна змінюється пропорційно квадрату напруги, то необхідно розрахувати і побудувати штучну механічну характеристику електродвигуна з врахуванням допустимого зниження напруги від номінальної на 5 %. Розрахунок проводиться за формулою:

$$M'' = M'(1 - 0,05)^2 = 0,9 \cdot M'. \quad (32)$$

При цьому номінальний, критичний, мінімальний і пусковий моменти мають значення:

$$M'_H = 0,9 \cdot M'_{\Delta.H.}; M''_K = 0,9 \cdot M'_{\Delta.K.}; M''_{\Delta.min} = 0,9 \cdot M'_{\Delta.min}; M''_{\Delta.n} = 0,9 \cdot M'_{\Delta.n.}$$

За даними розрахунку будують графік $s = f(M''_{\Delta})$.

Механічною характеристикою робочої машини називають залежність моменту статичних опорів, які вона створює, від кутової швидкості приводного вала.

Зведену до вала двигуна механічну характеристику робочої машини $M_c = f(\omega)$ розраховують за рівнянням:

$$M_c = \frac{n_{M.H.}}{n_n \cdot \eta_{пер}} \left[M_{M.O.} + (M_{M.H.} - M_{M.O.}) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x \right], \quad (33)$$

де $n_{M.H.}$ – номінальна частота обертання робочого органа машини, об/хв; n_n – номінальна частота обертання електродвигуна, об/хв; $M_{M.O.}$ – початковий момент статичних опорів робочої машини, Н·м; $M_{M.H.}$ – момент статичних опорів робочої машини при номінальній кутовій швидкості електродвигуна ω_n , Н·м; ω – кутова швидкість електродвигуна при моменті M_c , с⁻¹; x – показник степеня, що характеризує зміну моменту статичних опорів робочої машини при зміні швидкості; $\eta_{пер}$ – ККД передачі від двигуна до робочої машини.

Вихідні дані для розрахунку механічної характеристики робочої машини знаходять шляхом ретельного аналізу кінематичної схеми привода та технологічного процесу, який обслуговує машина [11,13].

Момент статичних опорів робочої машини при номінальній кутовій швидкості визначають за формулою:

$$M_{M.H.} = 9550 \frac{P_{M.H.}}{n_{M.H.}}. \quad (34)$$

Для заміни частоти обертання n , об/хв, на кутову швидкість ω , рад/с, користуються виразом:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad (35)$$

Дані розрахунку механічної характеристики робочої машини заносять в табл. 2 і за ними на рис. 3 будують графік $M_c=f(\omega)$.

2. Результати розрахунку зведеного моменту статичних опорів робочої машини

ω, c^{-1}	0										ω_c
$M_c, H \cdot m$	M_{c0}										

Для визначення часу пуску двигуна графічно знаходять різницю $M_{дин} = M''_d - M_c$ і будують графік динамічного моменту $\omega = f(M_{дин})$.

Графік $\omega = f(M_{дин})$ розділяють на окремі ділянки через довільні проміжки швидкості $\Delta\omega$ і знаходять середнє значення динамічного моменту $M_{дин.сер.}$ на кожній ділянці. Значення $\Delta\omega$ вибирають такими, щоб забезпечити достатню точність визначення $M_{дин.сер.}$

Зведений момент інерції електропривода і робочої машини з обертовими робочими органами до вала електродвигуна, кг/м², визначають за формулою:

$$j_{зв} = j_{рот} + \frac{j_M}{i^2}, \quad (36)$$

де $j_{рот}$ – момент інерції ротора електродвигуна, кг·м²; j_M – момент інерції обертових частин робочої машини, кг·м²; $i = \frac{n_H}{n_{м.н.}}$ – передаточне число механічної передачі.

Якщо в механічній системі є елементи, що рухаються поступально, наприклад стрічки транспортерів, візки, то їх момент інерції до вала електродвигуна зводять за формулою:

$$J_{зв} = \frac{mv^2}{\omega_{дв}^2}, \quad (37)$$

де m – маса вузлів, що рухаються поступально, кг; v – швидкість руху, м/с; $\omega_{дв}$ – кутова швидкість ротора двигуна, рад/с.

Час пуску електропривода на i ділянці графіка знаходять за виразом:

$$\Delta t_i = \frac{j \cdot \Delta \omega_i}{M_{дин.сп.i}}. \quad (38)$$

Визначивши час пуску на кожній ділянці, повний час пуску визначають за формулою:

$$t_n = \sum_{i=1}^n \Delta t_i. \quad (39)$$

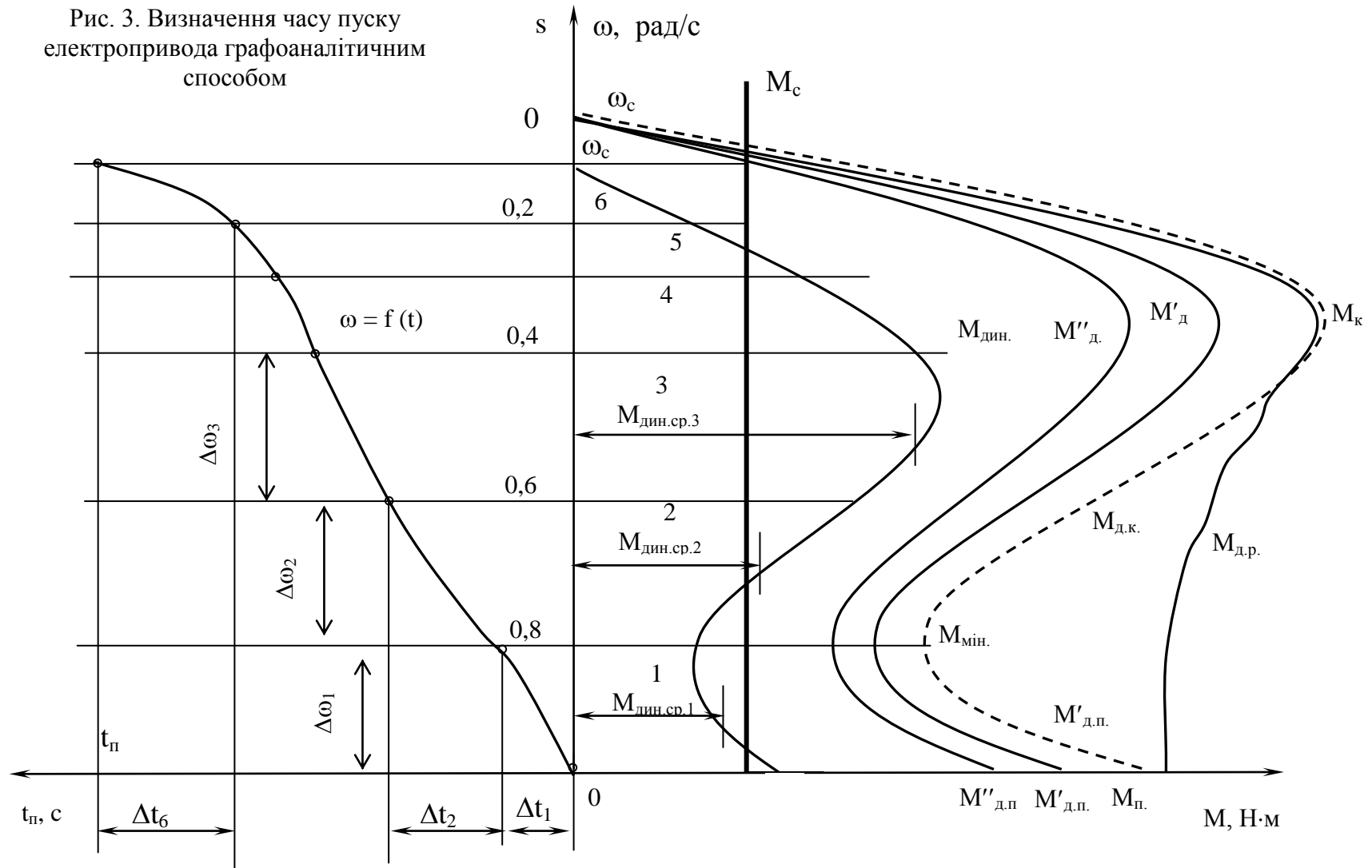
Результати розрахунків зводять в табл. 3.

3. Розрахунок часу пуску системи „електродвигун – робоча машина”

№ ділянки	$\Delta \omega_i$ рад/с	$M_{дин.сп.i}$ Н·м	$\Delta t_i, c$	t_n, c
1	$\Delta \omega_1$	$M_{дин.сп.1}$	Δt_1	Δt_1
2	$\Delta \omega_2$	$M_{дин.сп.2}$	Δt_2	$\Delta t_1 + \Delta t_2$
..	
n	$\Delta \omega_n$	$M_{дин.сп.n}$	Δt_n	$\Delta t_n = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n$

Графік зміни кутової швидкості в часі $\omega = f(t)$ будують у другому квадранті (рис. 3). Для цього послідовно відкладають значення приросту часу і відповідні значення кутової швидкості.

Рис. 3. Визначення часу пуску електропривода графоаналітичним способом



Маючи залежності $\omega = f(t)$ і $\omega = f(M_d)$, будують механічну навантажувальну характеристику електродвигуна $M_d = f(t)$.

Знаючи час пуску, за формулою (7) перевіряють вибраний двигун на нагрівання під час пуску.

4.2. Перевірка вибраного електродвигуна на пусковий момент

Умова перевірки:

$$0,95^2 \cdot 0,85 \cdot \mu_n \cdot M_{д.н.} \geq (1,2 \dots 1,3) M_{зр.р.м.}, \quad (40)$$

де μ_n – кратність пускового моменту електродвигуна; M_n – номінальний момент двигуна, визначений за каталоговими даними, Н·м; $M_{зр.р.м.}$ – момент зрушення робочої машини, зведений до вала електродвигуна.

Якщо умова (40) не виконується, вибирають двигун більшої потужності або з підвищеним пусковим моментом.

4.3. Перевірка вибраного двигуна на перевантажувальну здатність

Умова перевірки:

$$0,95^2 \cdot 0,9 \cdot \mu_k \cdot M_{д.н.} \geq M_{макс.н.д.}, \quad (41)$$

де μ_k – кратність максимального моменту двигуна; $M_{макс.н.д.}$ – максимальний статичний момент на валу електродвигуна при роботі, визначений за навантажувальною діаграмою, Н·м.

Якщо навантажувальна діаграма задана залежністю $P_2 = f(t)$, то $M_{макс.н.д.}$ наближено визначається за формулою:

$$M_{макс.н.д.} = 9550 \frac{P_{2макс}}{n_n}, \quad (42)$$

де $P_{2макс}$ – максимальна потужність на валу електродвигуна, визначена з навантажувальної діаграми, кВт.

Коли навантажувальна діаграма представлена потужністю, споживаною двигуном $P_1 = f(t)$, то максимальне навантаження на його валу визначають так:

$$M_{\text{макс.н.д.}} = 9550 \frac{P_{1\text{макс}} \cdot \eta_n}{n_n},$$

де $P_{1\text{макс}}$ – максимальна потужність, споживана двигуном, кВт; η_n – номінальний ККД двигуна.

Якщо ж навантажувальна діаграма задана залежністю $I = f(t)$, то за даними табл.1 додатка Б будують залежності η_i і $\cos\varphi_i$ від ступеня завантаження двигуна $\beta_i = P_2/P_{\text{ном}}$. Розраховують коефіцієнт завантаження двигуна

$$\beta = I_{\text{макс}}/I_{\text{ном}} \quad (43)$$

і за залежностями $\eta_i = f(\beta_i)$ і $\cos\varphi_i = f(\beta_i)$ визначають коефіцієнт корисної дії η і коефіцієнт потужності $\cos\varphi$ при струмі $I_{\text{макс}}$.

Розраховують значення $M_{\text{макс.н.д}}$ за формулою:

$$M_{\text{макс.н.д.}} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I_{\text{макс}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta}{\omega_n}. \quad (44)$$

Якщо умова (41) не виконується, то потрібно вибрати електродвигун більшої потужності і знову зробити його перевірку.

5. Розробка системи керування електроприводом

Принципіальними називають схеми керування, які визначають повний склад елементів електроустановок і зв'язки між ними і дають уявлення про принцип роботи установки.

Принципіальні схеми креслять, як правило, рознесеним способом. Фактичне розміщення окремих частин електроустановки не враховують або враховують наближено. Всі елементи схеми зображують у вигляді умовних графічних позначень згідно з

вимогами Єдиної системи конструкторської документації. Складні пристрої, які мають свою внутрішню схему (регулятори, перетворювачі напруги, частоти струму, програмні пристрої тощо), дозволяється зображувати у вигляді прямокутника з зовнішніми клемми. Елементи зображують у вимкненому стані.

При рознесеному способі зображення умовні позначення елементів або їх складових частин, які входять до одного кола, зображують послідовно один за одним на одній прямій, а окремі кола – одне під одним. Лінії зв'язку між ними повинні бути найкоротшими і мати мінімальну кількість перетинів.

Кожний елемент принципальної електричної схеми повинен мати буквено-цифрове умовне позначення, яке складається з латинських букв і цифр однакової висоти (наприклад, автоматичний вимикач *QF1*; електромагнітний пускач *KM1, KM2, KM3*; теплові реле *KK1, KK2, KK3* тощо). Позиційні позначення на схемі проставляють поряд з умовним графічним позначенням справа або над ним.

Для зручності читання схеми та розробки за нею схеми з'єднань ділянки кіл принципальної електричної схеми маркують. Маркування здійснюють від вводу джерела живлення, де вказують напругу мережі постійного струму або напругу і частоту струму мережі змінного струму. Вхідні ділянки силового кола трифазного змінного струму маркують *L1, L2, L3, N*; однофазного змінного струму – *L1, N; L2, N; L3, N*; постійного струму – *L+, L-*.

Ділянки електричного кола, розділені контактами апаратів, котушками реле, контакторів, обмотками машин, резисторами та іншими елементами, повинні мати різне маркування (*L1.1, L2.1, L3.1; L1.2, L2.1, L3.1* і т.д.), а ділянки кола, що проходять через рознімні, розбірні або нерозбірні контактні з'єднання – однакове маркування.

Послідовність маркування повинна бути у напрямку від джерела живлення до споживача, а ділянки кола, що розгалужуються, маркують зверху вниз у напрямку зліва направо. Маркування проставляють біля кінців або в середині ділянки кола при вертикальному зображенні кола – зліва, при горизонтальному – над ним. Кола керування, захисту та сигналізації маркують послідовними арабськими цифрами зліва-направо, у напрямку зверху-вниз.

Принципальну електричну схему привода розробляють після опису її функцій. Останні визначають шляхом аналізу технологічного процесу, який обслуговує робоча машина та вимог до ступеня автоматизації. Опис переліку виконуваних схемою функцій та принципу її роботи повинен бути коротким, але повним. Приклад виконання принципальної електричної схеми керування електроприводом показаний на рис. 4.

Схемою з'єднань називають схему, на якій показані з'єднання всіх складових частин електроустановки, а також проводи, кабелі і джгути, якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднання і вводу.

Схема з'єднань складається на основі принципальної електричної схеми і повинна бути узгоджена з нею.

Апарати і прилади на схемі з'єднань зображують у вигляді прямокутників або фігур, що зовнішніми обрисами нагадують відповідний апарат, а їх елементи – у вигляді умовних графічних позначень чи прямокутників. Розміщення пристроїв повинно відповідати дійсному розміщенню їх у шафі керування. Масштаби не витримуються. Біля графічних позначень треба вказувати позиційні позначення елементів відповідно до принципальної схеми. Проводи, що ідуть в одному напрямку, допускається зливати в одну лінію, а при

підході до апарата кожний провід треба зображати окремою лінією. Місце приєднання до апарата позначають кружечком з номером.

Номери проводів проставляють біля обох кінців їх зображень. Допускається біля обох кінців ліній вказувати адресу з'єднань.

Приклад виконання схеми з'єднань показаний на рис. 5.

6. Вибір апаратів керування і захисту, інших елементів схеми автоматичного керування, НКП та електропроводок

Автоматичні вимикачі вибирають за умовами:

- 1) за номінальною напругою апарата, яка повинна бути не нижче номінальної напруги мережі: $U_{на} \geq U_{мережі}$;
- 2) за номінальним струмом – так, щоб номінальний струм автоматичного вимикача був не менше номінального струму керованого двигуна: $I_{на} \geq I_{н.дв}$;
- 3) за номінальним струмом розчіплювачів максимального струму – так, щоб номінальний струм розчіплювачів був не менше номінального струму керованого двигуна: $I_{н.розч.} \geq I_{н.дв.}$
- 4) вибирають кратність відсічки $K_{відс}$;
- 5) за конструктивними ознаками: кількістю полюсів; кількістю і видом розчіплювачів максимального струму, додаткових контактів, додаткових розчіплювачів; видом привода; наявністю пристрою для регулювання струму неспрацювання теплових розчіплювачів;
- 6) за ступенем захисту від дії навколишнього середовища;
- 7) за кліматичним виконанням і категорією розміщення.

Вибраний вимикач перевіряють на неспрацювання при пуску двигуна за умовою:

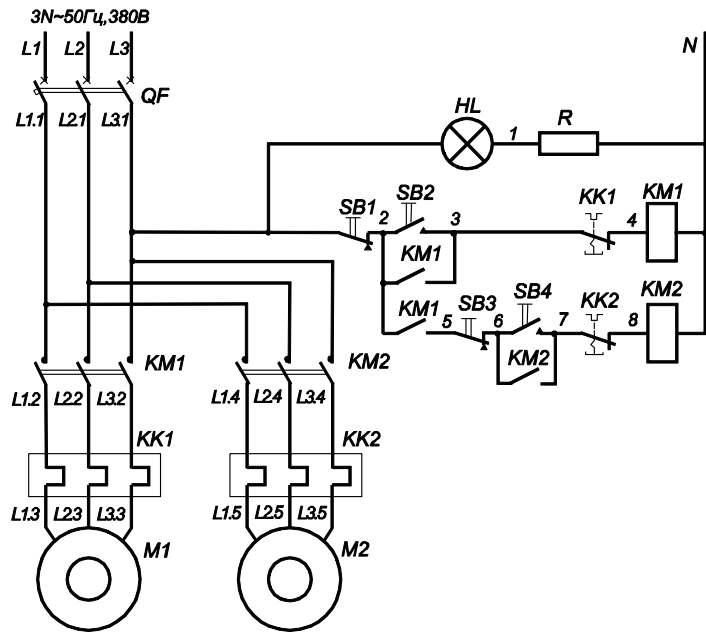


Рис 4. Принципіальна електрична схема керування гноєприбиральним транспортером ТСН-3Б

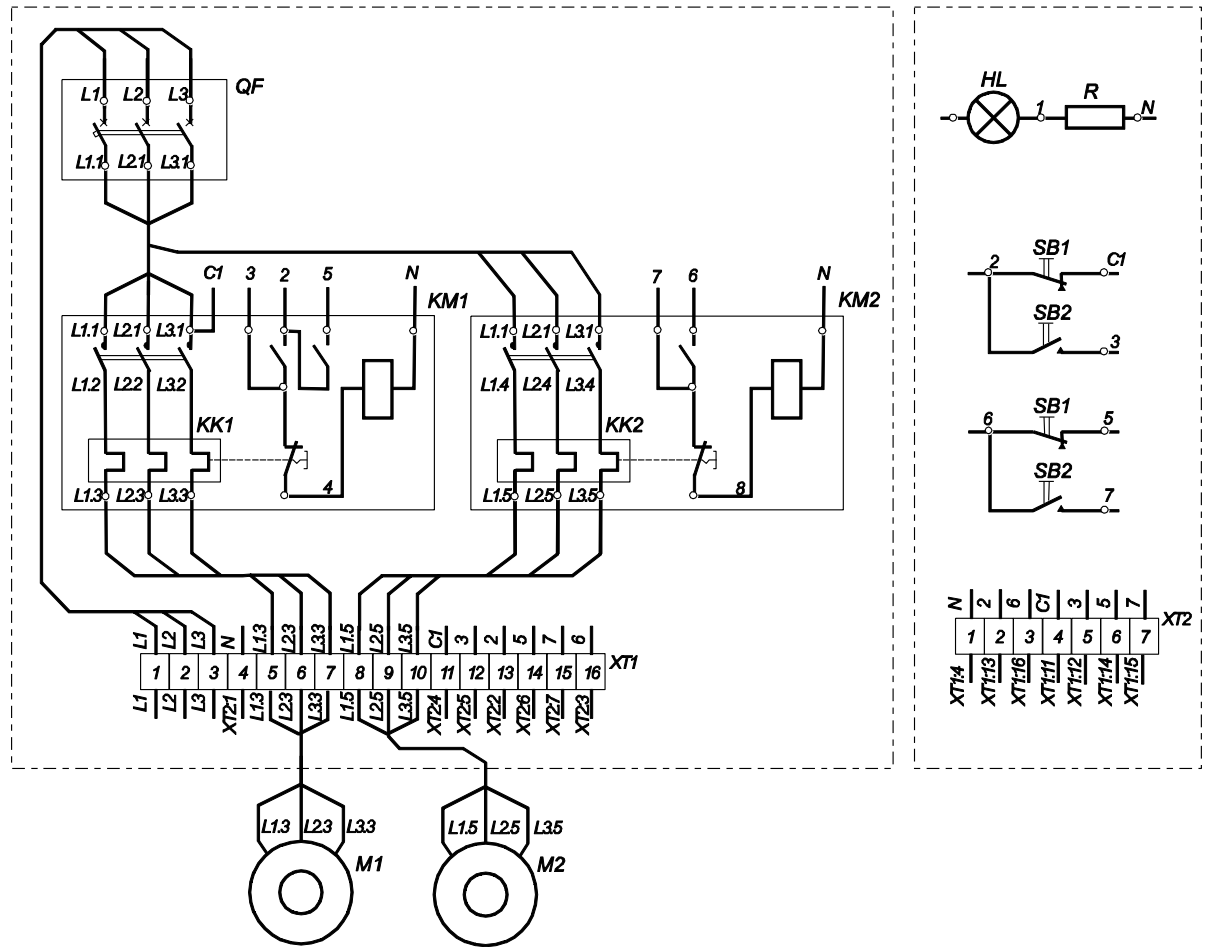


Рис 5. Схема з'єднання станції керування гноєприбиральним транспортером ШАП 5901Ж-03А.

$$I_{відс} = K_{відс} \cdot I_{н.розч.} \geq K_3 \cdot K_{py} \cdot K_{pnc} \cdot K_I \cdot I_{н.дв.},$$

де $I_{відс}$ – струм відсічки електромагнітного розчіплювача, А; K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,1$; K_{py} – коефіцієнт, що враховує розкид уставки теплового розчіплювача, $K_{py}=1,25$; K_{pnc} – коефіцієнт, що враховує можливе відхилення пускового струму від його каталогового значення, $K_{pnc}=1,2$; K_I – кратність пускового струму; $I_{н.дв.}$ – номінальний струм двигуна.

Електромагнітні пускачі вибирають за такими параметрами:

1) за номінальною напругою пускача, яка повинна бути не нижче номінальної напруги мережі: $U_{н.ном.} \geq U_{м.}$;

2) за номінальним робочим струмом – так, щоб номінальний робочий струм пускача був не менше номінального струму керованого двигуна: $I_{н.ном.р.} \geq I_{дв.ном.}$;

3) за призначенням – реверсивний, неревверсивний, для пуску електродвигунів з перемиканням обмоток із зірки на трикутник, з апаратом захисту (теплове реле, позисторний захист) чи без нього;

4) за ступенем захисту від дії навколишнього середовища і наявністю кнопок “Пуск” і “Стоп” та сигнальних ламп;

5) за кількістю і видом контактів допоміжного кола;

б) за кліматичним виконанням і категорією розміщення;

7) за родом струму і напругою втягувальної котушки. При цьому номінальна напруга котушки повинна дорівнювати напрузі кола керування пускачем: $U_{кот.ном.} = U_{кер.}$;

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 у категорії АС-3 і частоті вмикань за добу

більше 400 приймають 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.

Теплові реле вибирають за умовами:

1) тип реле – за типом магнітного пускача, для якого воно розроблено;

2) номінальний струм реле повинен бути не менше номінального струму двигуна: $I_{т.р.н} \geq I_{н.дв.}$;

3) номінальний струм двигуна повинен бути всередині діапазону регулювання струму неспрацювання реле: $I_{р.макс.} \geq I_{н.дв.} \geq I_{р.мін.}$

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

Кнопки керування і кнопкові пости вибирають за напругою, струмом, кількістю і видом контактів, конструктивним виконанням та ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

Світлосигнальні пристрої вибирають за напругою, розмірами та кольором світлофільтра.

Апарати керування, захисту і сигналізації слід вибирати з урахуванням того, що вони будуть встановлені в металеву оболонку (ящик) із ступенем захисту IP54. Тому ступінь захисту апаратів повинен бути якнайнижчим. При виборі апаратів, проводів та НКП обов'язково наводити методику їх вибору [1, 4, 5, 13, 14].

Після вибору складають таблицю переліку елементів схеми (табл. 4), яка є основою для замовлення обладнання та апаратури.

Для розміщення апаратів керування, захисту, автоматизації та сигналізації вибирають металеву оболонку необхідних розмірів та з відповідним ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

Ящик або шафа із вмонтованими апаратами, що призначені для розподілу електроенергії, захисту та керування споживачами електроенергії, називається низьковольтним комплектним пристроєм (НКП).

4. Перелік елементів схеми керування електроприводами

Позиційне позначення	Найменування	Кількість	Примітка
	Приклад		
КМ1	Пускач електромагнітний ПМЛ4200-О4Б, ТУ16.644.001-83	2	U _{кот} =220 В
QF1	Вимикач автоматичний АП50Б-3МТУЗ, I _{розч} =16А, К _{відс.} =10, ТУ16.522.139-78	1	

НКП відрізняються між собою за призначенням, видом і кількістю керованих двигунів, функціями, ступенем автоматизації та іншими ознаками [13, 14].

Як правило вибираються серійні НКП, а за їх відсутності або невідповідності вимогам складають схему з'єднань та готують технічні умови на виготовлення НКП.

Марку проводів і кабелів та спосіб їх прокладання вибирають з врахуванням умов навколишнього середовища та умов експлуатації. Переріз проводу вибирають за умовою:

$$I_{доп} \geq I_{макс.роб.},$$

де $I_{\text{дон}}$ – тривало допустимий струм проводу, А; $I_{\text{тр.роб.}}$ – тривалий робочий струм, А. При живленні одного двигуна за тривалий робочий приймають номінальний струм двигуна.

У кінці роботи наводять список використаної літератури, на яку повинні бути посилання в тексті.

Приклад

Вибрати електродвигун для привода вентилятора димогенератора продуктивністю $L = 550 \text{ м}^3/\text{год}$ при тиску 10 Па, ККД вентилятора – 0,6, частота обертання 1400 об/хв., момент інерції робочого колеса $J_B = 0,0035 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$. Робоче колесо насаджене на вал двигуна. Режим роботи тривалий S1.

Розрахункова потужність електродвигуна вентилятора, кВт, з урахуванням запасу потужності:

$$P_{\text{роз.}} = \frac{K_3 \cdot L_l \cdot p}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_n} = \frac{1,2 \cdot 550 \cdot 10}{3600 \cdot 0,6 \cdot 1} = 0,52 \text{ кВт.}$$

де K_3 – коефіцієнт запасу потужності на пусковий момент (табл.2 дод.А); p – повний тиск, Па; L_l – продуктивність вентилятора; η_B – ККД вентилятора; η_n – ККД передачі.

Номінальну потужність двигуна визначаємо з умови:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{роз.}}$$

Живлення електродвигуна передбачається трифазним змінним струмом напругою 380 В частотою 50 Гц.

Вибираємо електродвигун АИР71А4. Оскільки механічна передача між двигуном і вентилятором відсутня, то вибираємо 4-полюсний двигун загального призначення з синхронною частотою обертання 1500 об/хв.

Технічна характеристика двигуна АИР71А4: $U_H = 380$ В, $f_H = 50$ Гц; $P_H = 0,55$ кВт, $n_H = 1360$ об/хв, $\eta_H = 70,5\%$; $\cos\varphi_H = 0,7$; $\mu_k = 2,2$; $\mu_n = 2,0$; $\mu_{\min} = 1,8$; $J_{\text{рот}} = 0,0013$ кг/м², $v_t = 5,9$ °С/с, схема з'єднання обмоток статора - «зірка», клас ізоляції В.

Перевірка вибраного електродвигуна

1 Перевірка за тепловим режимом під час пуску

1.1. Механічну характеристику двигуна розраховуємо за його каталоговими даними, для чого знаходимо координати п'яти характерних точок.

Координати точки 1: $M_1 = 0$; $s_1 = 0$.

Координати точки 2:

$$M_2 = M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{0,55}{1360} = 3,86 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$s_2 = s_n = \frac{n_o - n_n}{n_o} = \frac{1500 - 1360}{1500} = 0,093.$$

Координати точки 3: $M_3 = M_{кр}$; $s_3 = s_{кр}$; $M_{кр} = M_H \cdot \mu_{кр} = 3,86 \cdot 2,2 = 8,49$ Н·м;

$$s_{кр} = \frac{s_{ном} + \sqrt{s_{ном} \cdot \frac{\mu_{кр} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{s_{ном} \cdot \frac{\mu_{кр} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,093 + \sqrt{0,093 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,1 - 1}}}{1 + \sqrt{0,093 \cdot \frac{2,2 - 1}{1,1 - 1}}} = 0,56;$$

$$\mu_1 = \mu_{кр} / \mu_{пуск} = 2,2 / 2 = 1,1.$$

Координати точки 4:

$$M_4 = M_H \cdot \mu_{\min} = 3,86 \cdot 1,8 = 6,95 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad s_4 = s_{\min} = 0,8.$$

Координати точки 5:

$$M_5 = M_H \cdot \mu_{пуск} = 3,86 \cdot 2 = 7,72 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad s_5 = 1.$$

Координати механічної характеристики $s = f(M')$ з урахуванням допустимих відхилень моментів:

- 1) $s = 0$; $M' = 0$ Н·м;
- 2) $s_H = 0,093$; $M'_H = 3,86$ Н·м;
- 3) $s_K = 0,56$; $M'_K = 0,9 \cdot M_K = 0,9 \cdot 8,49 = 7,64$ Н·м;
- 4) $s_{min} = 0,8$; $M'_{min} = 0,8 \cdot M_{min} = 0,8 \cdot 6,95 = 5,56$ Н·м;
- 5) $s_n = 1$; $M'_n = 0,85 \cdot M_n = 0,85 \cdot 7,72 = 6,56$ Н·м.

Координати механічної характеристики $s = f(M'')$ з урахуванням допустимих відхилень напруги (– 5%):

- 1) $s = 0$; $M'' = 0$ Н·м;
- 2) $s_H = 0,093$; $M''_H = (0,95)^2 \cdot M'_H = (0,95)^2 \cdot 3,86 = 3,48$ Н·м;
- 3) $s_K = 0,56$; $M''_K = (0,95)^2 \cdot M'_K = (0,95)^2 \cdot 7,64 = 6,89$ Н·м;
- 4) $s_{min} = 0,8$; $M''_{min} = (0,95)^2 \cdot M'_{min} = (0,95)^2 \cdot 5,56 = 5,02$ Н·м;
- 5) $s_n = 1$; $M''_n = (0,95)^2 \cdot M'_n = (0,95)^2 \cdot 6,56 = 5,92$ Н·м.

Значення швидкості обертання при ковзаннях $s=0$; s_H ; s_K ; s_{min} і $s=1$ розраховуємо за формулами (21, 23, 27, 29).

Результати розрахунків заносимо до табл. 5.

5. Розрахункові дані для побудови механічної характеристики електродвигуна

s	0	0,093	0,56	0,8	1
$\omega, \text{рад/с}$	1500	1360	660	300	0
$M, \text{Н·м}$	0	3,86	8,49	6,95	7,72
$M', \text{Н·м}$	0	3,86	7,64	5,56	6,56
$M'', \text{Н·м}$	0	3,48	6,89	5,02	5,92

Механічні характеристики двигуна $\omega=f(M)$, $\omega=f(M')$ $\omega=f(M'')$ будемо на рис.6.

1.2. Розраховуємо механічну характеристику вентилятора за формулою (33):

а) номінальний момент вентилятора:

$$M_{сн} = 9550 \cdot \frac{P_{роз.в.}}{n_n} = 9550 \cdot \frac{0,52}{1360} = 3,86 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

б) номінальна кутова швидкість вентилятора:

$$\omega_n = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1360}{60} = 142,35 \text{ рад/с};$$

в) момент зрушення:

$$M_{co} = 0,15 \cdot M_{сн} = 0,15 \cdot 3,86 = 0,579 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Результати розрахунків заносимо до табл. 6.

6. Розрахункова механічна характеристика вентилятора

$\omega_{р.м.},$ рад/с	0	20	40	60	80	100	120	142,35	157
$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	0,59	0,64	0,84	1,16	1,6	2,2	2,9	3,9	4,6

Механічну характеристику вентилятора $\omega = f(M_c)$ будемо на рис. 6.

1.3. Момент інерції, зведений до вала двигуна, визначаємо за формулою (36):

$$J_{зв} = 0,0013 + 0,0035 = 0,0048 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

1.4. Вісь ω розбиваємо на 7 ділянок з кроком $\Delta\omega = 20$ рад/с.

1.5. На кожній ділянці визначаємо динамічний момент привода $M_{дин}$ за формулою: $M_{дин} = M_{дв} - M_c$ (табл. 7).

7. Розрахунок динамічного моменту привода вентилятора

$M_{дв}, \text{Н}\cdot\text{м}$	5,92	5,14	5,5	6,83	6,63	5,85	4,85	3,7
$M_c, \text{Н}\cdot\text{м}$	0,58	0,62	0,8	1,15	1,6	2,2	2,9	3,7
$M_{дин}, \text{Н}\cdot\text{м}$	5,34	4,52	4,7	5,68	5,03	3,65	1,95	0

1.6. Усереднюємо динамічний момент на ділянках за виразом:

$$M_{\text{дин.ср.}} = \frac{M_{\text{дин1}} + M_{\text{дин2}}}{2} = \frac{5,34 + 4,52}{2} = 4,9 \text{ Нм.}$$

Результати заносимо в табл. 8.

8. Розрахунок часу пуску привода

$\Delta\omega$, рад/с	20	20	20	20	20	20	19
$M_{\text{дин.ср.}}$, Н·м	4,9	4,55	5,2	5,45	4,35	2,8	1,0
Δt , с	0,02	0,021	0,018	0,017	0,022	0,034	0,096

1.7. Визначаємо приріст швидкості Δt на кожній ділянці:

$$\Delta t = j_{\text{за}} \cdot \frac{\Delta\omega i}{M_{\text{дин}}} = \frac{0,0048 \cdot 20}{4,9} = 0,02 \text{ с.}$$

Результати заносимо в табл. 8.

1.8. Визначаємо час пуску електродвигуна:

$$t_{\text{пуску}} = \sum \Delta t_i = 0,02 + 0,021 + 0,018 + 0,017 + 0,022 + 0,034 + 0,096 = 0,228 \text{ с.}$$

1.9. Перевірку за тепловим режимом під час пуску виконуємо за формулою (19):

$$80 > 5,9 \cdot 0,228 = 1,35 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Таким чином, двигун під час пуску не перегріватиметься.

Перевірку двигуна на пусковий момент виконуємо за формулою (40):

$$0,8 \cdot 7,72 = 6,2 > M_{\text{зр. р.м.}} = 0,579 \text{ Н·м.}$$

Отже, двигун успішно запустить робочу машину.

Перевірку вибраного двигуна на перевантажувальну здатність не проводимо, оскільки двигун працює з постійним навантаженням, меншим за його номінальну потужність.

Згідно з ГОСТ 2479 – 79 за конструктивним виконанням та способом монтажу приймаємо електродвигун виконання ІМ3081.

Ступінь захисту двигуна ІР54. Кліматичне виконання і категорія розміщення У2.

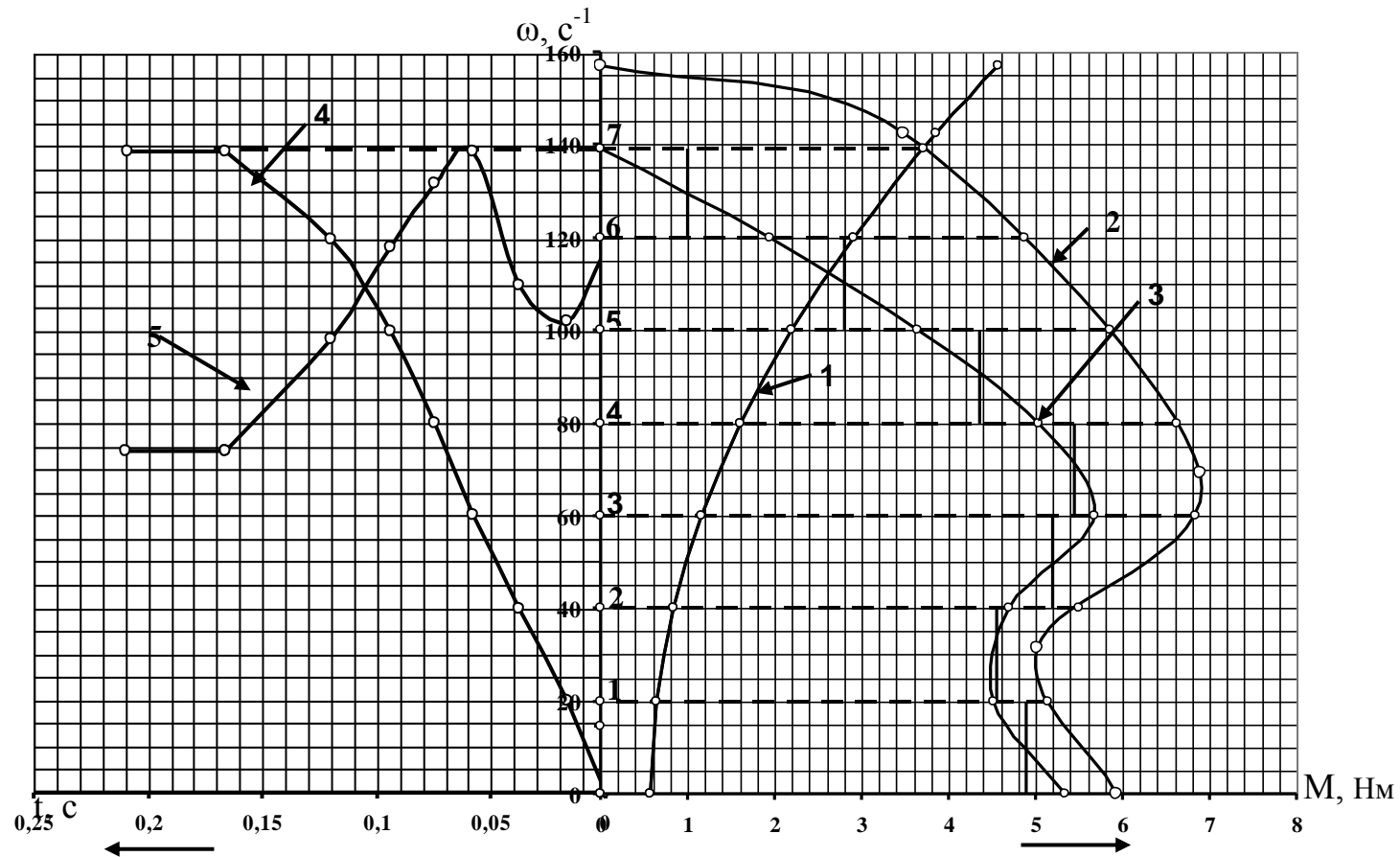


Рис. 6. Побудова кривих перехідного процесу: 1 – механічна характеристика робочої машини $\omega = f(M_c)$; 2 – механічна характеристика електродвигуна $\omega = f(M'_{\text{дв}})$; 3 – динамічна характеристика $\omega = f(M_{\text{дин}})$; 4 – час розгону електродвигуна $\omega = f(t)$; 5 – характеристика зміни моменту електродвигуна за час розгону $M_{\text{дв}} = f(t)$.

Додатки

Додаток А

Значення коефіцієнтів запасу при визначенні потужності двигунів

1. Значення коефіцієнту запасу для насосів

Потужність насоса, кВт	До 1,5	Від 1,5 до 4,0	Від 4,0 до 35,0	Більше 35,0
Коефіцієнт запасу	1,5	1,2	1,15	1,1

2. Значення коефіцієнту запасу для вентиляторів

Потужність вентилятора, кВт	До 0,5	0,6 – 1	1,1 – 2	2,1 – 3	3,1 і більше
Коефіцієнт запасу для відцентрових вентиляторів	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1
Коефіцієнт запасу для осьових вентиляторів	1,2	1,15	1,1	1,05	1,05

Додаток Б

1. Залежність ККД та коефіцієнта потужності двигунів серії АИР від ступеня завантаження β

P _н , кВт	ККД при $\beta=P/P_n$					cosφ при $\beta=P/P_n$					V _t , °C/c
	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	
n ₀ = 3000 об/хв											
0,09	0,42	0,555	0,60	0,60	0,575	0,32	0,52	0,64	0,75	0,77	1,2
0,12	0,485	0,60	0,635	0,63	0,58	0,32	0,53	0,65	0,75	0,77	1,0
0,18	0,52	0,64	0,68	0,68	0,63	0,35	0,56	0,68	0,78	0,82	3,7
0,25	0,57	0,68	0,70	0,69	0,65	0,36	0,58	0,72	0,79	0,82	3,7
0,37	0,64	0,73	0,74	0,72	0,67	0,45	0,69	0,80	0,86	0,89	5,5
0,55	0,70	0,76	0,76	0,75	0,70	0,47	0,68	0,79	0,85	0,87	6,5
0,75	0,72	0,79	0,795	0,785	0,75	0,49	0,70	0,80	0,85	0,87	8,1
1,1	0,77	0,81	0,81	0,79	0,75	0,49	0,71	0,80	0,85	0,87	10,9
1,5	0,73	0,805	0,815	0,81	0,79	0,48	0,70	0,80	0,85	0,87	7,9
2,2	0,77	0,83	0,835	0,83	0,81	0,51	0,73	0,83	0,87	0,89	8,9
3,0	0,80	0,855	0,855	0,845	0,82	0,58	0,78	0,85	0,88	0,89	8,7
4,0	0,80	0,86	0,88	0,87	0,85	0,6	0,8	0,85	0,88	0,89	7,6
5,5	0,83	0,88	0,885	0,88	0,865	0,64	0,81	0,86	0,89	0,89	8,8
7,5	0,78	0,855	0,875	0,875	0,865	0,56	0,74	0,83	0,88	0,89	9,1
11,0	0,80	0,87	0,88	0,88	0,87	0,65	0,82	0,87	0,90	0,90	9,8
15,0	0,81	0,88	0,90	0,90	0,89	0,67	0,82	0,87	0,89	0,89	9,6
18,5	0,84	0,895	0,905	0,905	0,89	0,70	0,84	0,88	0,90	0,90	10,3
22,0	0,81	0,88	0,905	0,905	0,90	0,64	0,80	0,86	0,89	0,90	8,8
30,0	0,83	0,895	0,915	0,915	0,90	0,66	0,82	0,88	0,90	0,90	7,6
37,0	0,82	0,89	0,915	0,915	0,91	0,66	0,80	0,85	0,87	0,87	6,5
45,0	0,84	0,90	0,92	0,92	0,915	0,70	0,83	0,87	0,88	0,88	6,8
55,0	0,84	0,91	0,925	0,925	0,92	0,77	0,88	0,90	0,91	0,91	7,0
75,0	0,82	0,90	0,93	0,93	0,93	0,72	0,85	0,89	0,90	0,90	5,4
90,0	0,85	0,91	0,93	0,93	0,925	0,73	0,86	0,91	0,92	0,92	6,0

Продовження дод.Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$n_0 = 1500$ об/хв											
0,06	0,27	0,43	0,53	0,53	0,52	0,32	0,44	0,54	0,63	0,70	0,6
0,09	0,32	0,48	0,57	0,57	0,565	0,35	0,45	0,56	0,65	0,72	0,8
0,12	0,41	0,56	0,64	0,63	0,62	0,30	0,43	0,56	0,66	0,70	2,4
0,18	0,435	0,58	0,64	0,64	0,615	0,28	0,43	0,57	0,68	0,74	2,9
0,25	0,49	0,63	0,68	0,68	0,655	0,27	0,43	0,56	0,67	0,73	3,7
0,37	0,515	0,645	0,68	0,68	0,64	0,29	0,45	0,58	0,70	0,76	5,6
0,55	0,55	0,67	0,705	0,705	0,67	0,29	0,46	0,59	0,70	0,75	4,8
0,75	0,59	0,71	0,74	0,73	0,69	0,33	0,50	0,64	0,73	0,79	7,3
1,1	0,64	0,74	0,76	0,75	0,72	0,38	0,59	0,73	0,81	0,85	7,2
1,5	0,71	0,73	0,745	0,78	0,74	0,41	0,63	0,76	0,83	0,86	8,0
2,2	0,75	0,82	0,835	0,81	0,775	0,42	0,64	0,76	0,83	0,85	10,4
3,0	0,755	0,82	0,83	0,82	0,795	0,43	0,65	0,77	0,83	0,85	7,8
4,0	0,80	0,85	0,86	0,85	0,825	0,46	0,68	0,79	0,84	0,86	7,1
5,5	0,82	0,865	0,865	0,855	0,83	0,52	0,73	0,81	0,86	0,86	12,4
7,5	0,775	0,86	0,875	0,875	0,86	0,53	0,71	0,83	0,86	0,87	9,8
11,0	0,80	0,86	0,88	0,875	0,87	0,55	0,75	0,84	0,87	0,88	10,5
15,0	0,87	0,91	0,91	0,90	0,88	0,63	0,82	0,88	0,89	0,89	8,0
18,5	0,88	0,915	0,915	0,905	0,885	0,66	0,82	0,86	0,89	0,89	7,4
22,0	0,86	0,90	0,905	0,905	0,875	0,63	0,80	0,85	0,87	0,87	6,2
30,0	0,87	0,91	0,92	0,92	0,90	0,65	0,81	0,86	0,87	0,87	6,4
37,0	0,88	0,92	0,925	0,925	0,92	0,67	0,83	0,88	0,89	0,89	8,5
45,0	0,89	0,925	0,93	0,925	0,915	0,69	0,84	0,88	0,89	0,89	7,9
55,0	0,89	0,925	0,93	0,93	0,92	0,67	0,83	0,88	0,89	0,89	6,9
75,0	0,89	0,925	0,94	0,94	0,93	0,70	0,83	0,87	0,88	0,88	4,5
90,0	0,90	0,935	0,94	0,94	0,93	0,71	0,85	0,88	0,89	0,89	4,7
110,0	0,90	0,93	0,94	0,935	0,92	0,83	0,91	0,92	0,91	0,88	2,4
$n_0 = 1000$ об/хв											
0,18	0,345	0,495	0,56	0,56	0,52	0,25	0,38	0,51	0,62	0,71	2,6
0,25	0,395	0,54	0,59	0,59	0,55	0,24	0,38	0,51	0,62	0,70	1,8

Продовження дод.Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,37	0,46	0,60	0,65	0,65	0,615	0,28	0,42	0,55	0,65	0,72	3,8
0,55	0,53	0,665	0,69	0,685	0,635	0,30	0,46	0,59	0,70	0,76	4,5
0,75	0,57	0,69	0,705	0,70	0,645	0,32	0,49	0,63	0,72	0,77	4,9
1,1	0,53	0,735	0,75	0,74	0,69	0,33	0,52	0,65	0,74	0,78	4,3
1,5	0,66	0,76	0,77	0,76	0,72	0,32	0,51	0,64	0,72	0,75	5,1
2,2	0,74	0,815	0,82	0,81	0,78	0,33	0,54	0,67	0,74	0,77	5,0
3,0	0,73	0,81	0,82	0,81	0,785	0,33	0,58	0,69	0,76	0,79	8,6
4,0	0,77	0,825	0,83	0,82	0,795	0,40	0,62	0,74	0,81	0,83	9,1
5,5	0,71	0,81	0,84	0,85	0,83	0,33	0,56	0,69	0,80	0,84	8,8
7,5	0,76	0,84	0,85	0,855	0,84	0,40	0,62	0,74	0,81	0,84	8,6
11,0	0,85	0,89	0,89	0,88	0,855	0,52	0,72	0,80	0,83	0,84	8,6
15,0	0,855	0,89	0,89	0,88	0,86	0,54	0,74	0,82	0,85	0,85	8,6
18,5	0,86	0,905	0,905	0,895	0,88	0,53	0,74	0,82	0,85	0,85	7,1
22,0	0,875	0,91	0,91	0,90	0,88	0,52	0,73	0,81	0,83	0,83	6,4
30,0	0,88	0,91	0,91	0,90	0,89	0,53	0,75	0,83	0,85	0,85	7,6
37,0	0,875	0,91	0,915	0,91	0,895	0,53	0,77	0,83	0,85	0,85	6,8
45,0	0,88	0,92	0,925	0,925	0,915	0,54	0,77	0,83	0,85	0,85	5,5
55,0	0,89	0,92	0,925	0,925	0,915	0,55	0,78	0,84	0,86	0,86	6,4
75,0	0,90	0,93	0,93	0,925	0,905	0,7	0,86	0,89	0,90	0,89	5,2
90,0	0,90	0,93	0,93	0,93	0,915	0,67	0,84	0,88	0,90	0,89	6,1
110,0	0,91	0,93	0,935	0,93	0,92	0,71	0,86	0,90	0,92	0,91	5,4

Список рекомендованой літератури

1. Електропривод /За ред. Ю.М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
2. Електропривод /За ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 208 с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.
4. Чунихин А.А. Электрические аппараты: Общий курс. – М.: Энергоиздат, 1988. – 720 с.
5. Гончар В.Ф. Електрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. – К.: Вища шк., 1985. – 208 с.
6. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 283 с.
7. Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоиздат, 1986. – 416 с.
8. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 580 с.
9. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
10. Сабинин Ю.А. Электромашинные устройства автоматики. – Л.: Энергоатомиздат, 1988. – 408 с.
11. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с.

12. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник /А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф и др. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
13. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві / За ред. О.С. Марченка. – К.: Урожай, 1995. – 416 с.
14. Довідник сільського електрика /За ред. В.С. Олійника. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
15. Омельченко О.О., Пономарьов П.І., Ткач В.Д. Довідник по механізації тваринницьких і птахівничих ферм. – К.: Урожай, 1970. – 392 с.

Зміст

Вступ.....	3
1. Загальні вимоги до проектування електроприводів.....	5
2. Загальна методика вибору електродвигуна.....	6
3. Попередній вибір електродвигуна за потужністю і частотою обертання.....	12
4. Перевірка вибраного двигуна.....	18
4.1. Перевірка вибраного електродвигуна за тепловим режимом під час пуску.....	18
4.2. Перевірка вибраного електродвигуна за умовами пуску...	25
4.3. Перевірка вибраного двигуна на перевантажувальну здатність.....	25
5. Розробка системи керування електроприводом.....	26
6. Вибір апаратів керування і захисту, інших елементів схеми автоматичного керування, НКП та електропроводок.....	31
Приклад.....	33
Додатки.....	33
Додаток А. Значення коефіцієнта запасу при визначенні потужності двигунів.....	41
Додаток Б. Залежність ККД та коефіцієнта потужності двигунів серії АИР від ступеня завантаження.....	42
Список рекомендованої літератури.....	44