

ЛЕКЦІЯ № 2 МЕТОДИКА ВИБОРУ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В ЦІЛОМУ

План

1. Загальна методика вибору електропривода;
2. Вибір електродвигуна за родом струму і напругою;
3. Вибір електродвигуна за режимом роботи та електричною модифікацією;
4. Вибір електродвигуна за конструктивним виконанням і способом монтажу;
5. Вибір електродвигуна за кліматичним виконанням і категорією розміщення;
6. Вибір електродвигуна з урахуванням особливостей сільських електромереж;
7. Вибір способу з'єднання двигуна з робочою машиною.

1 Загальна методика вибору електропривода

Для вибору та перевірки електропривода необхідно мати такі вихідні дані:

- технологічну і кінематичну схему;
 - механічну та навантажувальну характеристику робочої машини;
 - динамічний момент інерції та статичний момент механізму при пуску (момент зрушення);
 - режим роботи;
 - послідовність операцій керування електроприводом та вимоги до автоматизації;
 - аксіальне та радіальне навантаження на виступаючий кінець вала двигуна;
 - умови навколишнього середовища та умови експлуатації електропривода.
- При наявності цих даних вибір електропривода проводиться поетапно.
- Електродвигун вибирають за:
- потужністю, частотою обертання;
 - родом струму, напругою;
 - режимом роботи, електричною модифікацією;
 - конструктивним виконанням і способом монтажу;
 - ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих частин та від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх предметів і вологи;
 - кліматичним виконанням і категорією розміщення.

За номінальною потужністю електродвигун вибирають згідно з навантажу-

вальною діаграмою робочої машини. Вибраний електродвигун перевіряють за допустимим механічним навантаженням на виступаючий кінець вала, на перевантажувальну здатність і за умовами пуску.

За частотою обертання електродвигун вибирають відповідно до частоти обертання вала робочої машини. На цьому етапі аналізується кінематична схема механізму, зокрема частота обертання або лінійна швидкість робочого органу та передавальні числа.

Трифазні асинхронні двигуни основних серій випускають на синхронні частоти обертання 3000, 1500, 1000, 750 об/хв. Для одержання нижчих швидкостей безпосередньо на вихідному валу застосовують мотор-редуктори різних типів.

При виборі двигуна необхідно мати на увазі, що двополюсні двигуни мають найвищі енергетичні показники (коефіцієнт потужності, ККД), найменшу масу та габарити, але недоліком їх є підвищений шум та вібрація, вищі вимоги до підшипників та їх змащення, невелике допустиме число пусків на годину. Чотириполюсні електродвигуни мають середні показники і використовуються частіше.

Тихохідні електродвигуни мають нижчі енергетичні показники, більші масу та габарити, але відносяться до мал шумних і потребують меншу кількість проміжних передач для машин з невеликими швидкостями обертання.

Двигуни спеціальних серій виготовляються тільки на одну частоту обертання, наприклад, серії ПЗДВ для привода заглибних насосів всіх потужностей - на синхронну частоту обертання 3000 об/хв, АИРП - на 1000 об/хв.

Якщо частота обертання робочої машини менше 600 об/хв, то економічно доцільніше вибрати високошвидкісні двигуни і механічну передачу.

Вибраний електродвигун перевіряється за умовами пуску при номінальній та зниженій напрузі, яка можлива за даних умов. Пусковий момент двигуна при даній напрузі повинен бути більшим за момент зрушення механізму з запасом 15-20 %. Двигун перевіряється також за часом пуску чи за тепловим режимом при пуску. Методика розрахунків при цих перевірках наведена в попередніх розділах.

Після вибору електродвигуна та його перевірок приступають до розробки електричної принципової схеми керування електроприводом. При цьому використовують такі вихідні дані:

- тип електродвигуна та його електрична модифікація;
- особливості пуску (прямий, із введенням резисторів, перемиканням обмоток статора із «зірки» на «трикутник» тощо);
- особливості керування (нереверсивне, реверсивне, з електричним гальмуванням, керування з декількох місць);
- вимоги технологічного процесу щодо черговості запуску та зупинки;
- вимоги технологічного процесу щодо швидкісного режиму (одношвидкісний без регулювання, зі ступінчатою зміною швидкості, з плавним регулюванням швидкості, зі стабілізацією швидкості при змінах навантаження тощо);
- вимоги до рівня автоматизації керування (необхідність введення в схему датчиків, контролюючих та регулюючих пристроїв, кінцевих вимикачів тощо);
- можливі ненормальні режими, від яких треба захищати електропривод.

Схема розробляється на базі типових вузлів електричних схем:

- силовий вузол;
- вузол захисту і блокувань;
- вузол сигналізації стану;
- вузол реверсування і дистанційного керування.

Розроблена схема повинна бути простою і повністю забезпечувати вимоги технологічного процесу. Схему оцінюють за надійністю і при необхідності вносять корективи. При наявності електричної принципової схеми та технічних даних електрообладнання (потужність, номінальний та пусковий струми, напруга живлення) приступають до вибору елементів схеми для силових кіл та кіл керування.

Елементи схеми вибирають з урахуванням їх новизни, технічних даних, вартості. З метою підвищення ремонтпридатності число однотипних елементів повинно бути максимальним.

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

Для розміщення апаратури керування та захисту вибирають металеву оболонку необхідних розмірів та з відповідним ступенем захисту від дії навколишнього середовища.

2. Вибір електродвигуна за родом струму і напругою

За родом струму електроприводи вибирають відповідно до роду струму електричної мережі, від якої вони будуть отримувати живлення, та вимог робочої машини до механічної характеристики двигуна. Залежно від джерела електроенергії електроприводи можуть живитися постійним струмом (від акумуляторів та автономних генераторів), пульсуючим (від випрямлячів та перетворювачів) та змінним (від електричної мережі змінного струму).

Основним для галузі є асинхронний двигун змінного струму. Більшість сільськогосподарських машин приводиться у рух нерегульованим електроприводом за допомогою трифазних асинхронних двигунів переважно коротко замкнених. Він дешевший від фазного, простіший в обслуговуванні та надійніший в експлуатації.

Двигуни із фазним ротором застосовують там де необхідно мати великий пусковий момент при порівняно невеликому (1,5-3 кратному) пусковому струмі.

Основний недолік асинхронних двигунів – утруднене регулювання частоти обертів, тому їх застосовують тільки при ступінчастому регулюванні або незначному діапазоні регулювання. Там де потрібно регулювати частоту обертів застосовують багатшвидкісні асинхронні двигуни.

Застосування синхронних двигунів обмежується їх великою вартістю та необхідністю мати постійний струм для живлення кола збудження. Окрім того, вони вимагають автоматичної апаратури керування, що також здорожує привод, тому їх застосовують в установках відносно великої потужності, вони мають вищий ККД.

Двигуни постійного струму застосовуються тоді, коли робоча машина потребує плавного і в широких межах регулювання кутової швидкості. Живлення електроприводів постійним та пульсуючим струмами в сільському господарстві застосовується рідко (електрокари, електронавантажувачі, живильники кормів).

Промисловість випускає електродвигуни постійного струму на напругу 24, 110, 220 і 440 В та змінного струму на напругу 36, 127, 220, 380, 500, 1000, 3000, 6000 В.

У сільському господарстві використовують електродвигуни постійного струму на різні напруги залежно від напруги генераторів, за економічними міркуваннями

рекомендована напруга 220 та 440 В.

Найбільш розповсюдженими напругами змінного струму у сільському господарстві є система 220/380 В. Промисловість випускає асинхронні трифазні двигуни на напругу 380 В - Δ , що допускають перемикання в Y на час пусків та при роботі з навантаженням $(0,3-0,4)P_n$, що забезпечує його роботу з високим ККД та $\cos\phi$.

За напругою електроприводи вибирають таким чином, щоб номінальні напруги електродвигуна та апаратів захисту і керування відповідали напрузі електромережі, в яку вони будуть вмикатися. Асинхронні двигуни серії АИР потужністю 0,025-0,37 кВт виготовляються на напруги 220 та 380 В; від 0,37 до 11 кВт - на 220, 380 та 660 В при з'єднанні обмоток статора в «зірку» або «трикутник» з трьома вивідними кінцями, або шістьма кінцями за вимогою замовника; більше 11 кВт - на напругу 380/660 В шістьма вивідними кінцями.

Перехід на інші напруги допускається тільки у виняткових випадках, коли досягаються техніко-економічні переваги та значні експлуатаційні зручності. Зважаючи на безпеку обслуговуючого персоналу у електрифікованому ручному інструменті застосовують двигуни напругою 36, 127 та 220 В невеликої потужності.

Основне виконання двигунів передбачає частоту струму мережі 50 Гц, для експортних поставок можливе виконання на частоту 60 Гц. Двигуни спеціальних серій можуть виготовлятися на частоти 100, 200, 400 Гц (електропривод стригальних машинок, сепараторів, центрифуг тощо).

3. Вибір електродвигуна за режимом роботи та електричною модифікацією

За режимом роботи двигун вибирають відповідно до режиму роботи робочої машини, для приводу якої він призначений. В окремих випадках для короткочасного та повторно-короткочасного режиму роботи можна вибирати двигун, призначений для тривалого режиму роботи.

Двигуни для короткочасного режиму роботи (S2) створено на базі двигунів загального використання, тому тривалості допустимої роботи не збігаються зі стандартною тривалістю роботи режиму S2. Якщо двигун короткочасного режиму має потужність на одну ступінь вищу порівняно з двигуном основного виконання, то в його позначенні зазначено КР1, а якщо потужність більша на два ступеня - КР2.

Двигуни короткочасного режиму мають також виконання, призначене для тривалого режиму роботи, а при перевантаженні - короткочасного режиму. Вони мають в позначенні індекс КРЗ і використовуються при змінному навантаженні.

Електрична модифікація двигунів - це деякі відмінності в робочих властивостях, які найчастіше проявляються в механічних характеристиках. Основними електричними модифікаціями двигунів є такі: двигуни з підвищеним ковзанням, підвищеним пусковим моментом, з фазним ротором, багатошвидкісні, однофазні, для короткочасного режиму роботи. За електричною модифікацією асинхронний двигун вибирають залежно від моменту зрушення робочої машини, характеру навантаження двигуна і величини махових мас системи «електродвигун - робоча машина», потреби у регулюванні кутової швидкості тощо.

Підвищене ковзання мають двигуни серії АИРС, які мають величину критичного ковзання до 30 % (двигуни основного виконання - 10-12 %). Рекомендуються ці двигуни для приводу машин з частими пусками, пульсуючим навантаженням (поршневі насоси, компресори), для машин, які працюють в повторно-короткочасному режимі (підйомники, ковальсько-пресові машини, металообробні верстати, живильники-дозатори тощо), а також для машин з великим моментом інерції. Номінальні дані цих двигунів (потужність, струм) визначені для повторно-короткочасного режиму (*S3*) з тривалістю вмикання (*TB*) 40 %. Для інших *TB* допустима потужність приводиться на паспортній таблиці та в довідковій літературі. В тривалому режимі (*S1*) ці двигуни можуть працювати при потужності не більше 80 % від номінальної.

Двигуни з підвищеним ковзанням допускають регулювання швидкості обертання шляхом зміни підведеної напруги при вентиляторному навантаженні. З цією метою створена спеціалізована серія асинхронним двигунів АИРП, які використовуються для приводу осьових вентиляторів.

Асинхронні двигуни з підвищеним пусковим моментом АИРР рекомендуються для приводу механізмів з важкими умовами пуску, таких як шнеки, центрифуги, сепаратори, дробарки, вібратори, поршневі компресори, а також транспортери, які запускаються з частковим або повним навантаженням. Пусковий момент цих двигунів в 2-2,5 рази більший номінального, при цьому вони мають більш жорстку

механічну характеристику.

До електричних модифікацій двигунів іноді відносять двигуни з вбудованим температурним захистом та вбудованим електромагнітним гальмом, які мають конструктивні відмінності, але за робочими характеристиками практично не відрізняються від двигунів основного виконання.

4. Вибір електродвигуна за конструктивним виконанням і способом монтажу

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 приводу осьових вентиляторів, двигуни для ручних електричних машин тощо).

Друга та третя цифри означають спосіб монтажу, вказують на положення двигуна в просторі: горизонтально лапами вниз, вертикально валом вгору або вниз, на стінці, на стелі тощо. Двигуни з висотою осі обертання до 160 мм можуть працювати при будь-якому положенні вала в просторі (ІМ1081).

Четверта цифра означає виконання виступаючого 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 існує. Основним виконанням валів у двигунів серії АИР загального призначення є 1 - з одним циліндричним кінцем.

За ступенем захисту персоналу від доторкання до струмоведучих або рухомих

частин, що знаходяться всередині корпусу двигуна, і від потрапляння всередину корпусу твердих сторонніх предметів і вологи двигуни вибирають відповідно до характеристики навколишнього середовища, в якому буде працювати двигун. 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.

5. Вибір електродвигуна за кліматичним виконанням і категорією розміщення

Відповідність елементів електропривода умовам зовнішнього середовища визначають порівнюючи умови роботи електропривода з виконанням електрообладнання. Залежно від навколишнього середовища сільськогосподарські виробничі приміщення, в яких експлуатується електрообладнання, поділяють на такі категорії:

- *сухі* (відносна вологість не перевищує 60 %) – приміщення для обслуговуючого персоналу ферм, інкубаторів, обладнання для обробки яєць, приміщення для розміщення шаф, ящиків і пультів керування, опалювальні склади;
- *вологі* (відносна вологість більше як 60 %, але не перевищує 75 %, пара та волога, що конденсується, виділяються лише тимчасово і в невеликих кількостях) – неопалювані склади для негорючих матеріалів;
- *вогкі* (відносна вологість тривало перевищує 75 %) – молочні та доїльні зали, а також корівники, свинарники, телятники, пташники за наявності установок для створення мікроклімату;
- *особливо вогкі* (вологість повітря близька до 100 %) – кормоцехи для приготування вологих кормів, мийні відділення, парники, теплиці, зовнішні установки (під навісом);

- *приміщення з хімічно активним або органічним середовищем* (постійно або тривало містять агресивну пару, газу, рідини, утворюються відкладення або плісень, які руйнують ізоляцію і струмопровідні частини обладнання) – склади хімічних добрив, приміщення для протруювання насіння, а також корівники, свинарники, телятники, пташники та інші тваринницькі приміщення за відсутності в них установок для створення мікроклімату;

- *запилені приміщення* (за умовами виробництва виділяється технологічний пил у такій кількості, що осідає на проводи, проникає всередину машин і апаратів) – пункти післяжнивної обробки зерна та технічних культур, агрегати для приготування трав'яного борошна, комбикормові заводи, склади сипучих негорючих матеріалів тощо. Запилені приміщення поділяють на приміщення з струмопровідним пилом і з не струмопровідним пилом;

- *жаркі приміщення* (температура постійно або періодично більше доби становить 35 °С) – сушарки, котельні.

Приміщення можуть мати *пожежо-небезпечні зони*: класу П-I – склади горючих рідин з температурою спалаху вищою за 61 °С; класу П-II – приміщення, в яких виділяється горючий пил чи волокна з нижчою межею займання більш як 65 г/м³ щодо об'єму повітря; П-IIa – зони в приміщеннях, де перебувають тверді горючі речовини; П-III – зони за межами приміщень, в яких є горючі рідини, що мають температуру спалаху більшу за 61 °С, або тверді горючі речовини.

Приміщення можуть мати *вибухонебезпечні зони*, в яких є або можуть утворюватися вибухонебезпечні суміші.

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 - загально кліматичне 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 ізоляцію з подвійним просочуванням, 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 зовнішнього середовища. До них відносяться двигуни:

- хімоустійкого виконання (позначення Х1, Х2), які допускають наявність в оточуючому середовищі хімічно активного пару хлору до $0,001\text{ г/м}^3$, аміаку - до $0,02\text{ г/м}^3$, сірнистого 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, зерносховища);
- сільськогосподарського виконання (позначення СУ1, СУ2), призначені для роботи на відкритому повітрі та в приміщеннях з відносною вологістю до 100 % при температурі $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, допускають наявність аміаку до $0,03\text{ г/м}^3$, 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.

6. Вибір електродвигуна з урахуванням особливостей сільських електромереж

Коливання напруги. Запуск короткозамкнутих асинхронних двигунів від генераторів та підстанцій малої потужності викликає великі коливання напруги у мережі, які сильно впливають на пусковий режим двигунів, що вмикаються, та на роботу інших двигунів, що раніше включені у цю мережу. Часто неправильно вибраний електродвигун, що вмикається у малопотужну мережу, не розганяється і викликає таке велике зниження напруги у мережі, що працюючі двигуни зупиняються, оскільки не можуть подолати навантажувальні моменти машини.

Якщо повітряна лінія має значну довжину і невеликий перетин проводів, то у ній неможливо знехтувати падінням напруги. На затискачах двигуна падіння напруги визначається:

$$\Delta U = \frac{Z_{mp} + Z_l}{Z_{mp} + Z_l + Z_{\partial b}} \cdot 100\%,$$

де Z_l – повний опір ліній електропередач, Ом;

Z_{mp} – повний опір короткого замикання обмоток трансформатора:

$$Z_{mp} = \frac{U_n \cdot e_k}{100 \cdot I_n},$$

де U_n – номінальна фазна напруга трансформатора, В;

I_n – номінальний фазний струм;

e_k – напруга короткого замикання трансформатора, %;

$Z_{\partial b}$ – повний опір короткого замикання асинхронного двигуна, Ом:

$$Z_{\partial b} = \frac{U_n}{k_i \cdot I_n},$$

де U_n – номінальна фазна напруга двигуна, В;

I_n – номінальний фазний струм;

k_i – кратність пускового струму.

З метою економії, у сільському господарстві встановлюють трансформатори невеликої потужності, а лінії електропередач виготовляють із проводів невеликого перетину, але це обмежується вимогами освітлювального навантаження та умов стійкості роботи двигунів. При пуску (за правилами ПУЕ для сільських установок) асинхронних коротко замкнутих двигунів допускається зниження напруги на їх затискачах до 70 % від номінальної, якщо при цьому забезпечується нормальний розгін машини. А відхилення напруги на затискачах раніше включених двигунів не повинно перевищувати 20 % від номінальної.

Такі відхилення напруги, хоча й короточасні, небажані особливо для освітлення, тому де це можливо, стараються розділити живлення силового та освітлювального навантаження.

Перевірка правильності вибору електродвигуна за умовами запуску. За умовами запуску необхідна така напруга на затискачах двигуна, при якій обертовий момент двигуна перевищуватиме момент зрушення машини з місця на $M_{над} = (0,2 \dots 0,3)M_n$, тоді електродвигун подолає не тільки момент зрушення машини але й зможе надати початкове прискорення масам двигуна і робочої машини.

Встановимо основні співвідношення для допустимого падіння напруги виходячи із умов запуску електродвигуна та стійкості роботи раніше включених двигунів.

Для орієнтовних розрахунків приймемо, що обертовий момент асинхронного двигуна приблизно пропорційний квадрату прикладеної до його затискачів напруги:

$$\frac{M_n}{M_{nn}} = \left(\frac{U_n}{U_n} \right)^2,$$

де M_{nn} – пусковий момент двигуна при номінальній напрузі;

M_{nn} – пусковий момент двигуна при зниженій напрузі пуску;

U_n – напруга при пуску;

U_n – номінальна напруга.

Падіння напруги:

$$\Delta U = \frac{U_n - U_n}{U_n} \cdot 100\%.$$

або:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_n}{M_{нн}}} \right) \cdot 100\%.$$

Для розгону двигуна необхідно, щоб $M_n = M_{тр} + M_{над}$,

де $M_{тр}$ – приведений момент зрушення робочої машини;

$M_{над}$ – надлишковий момент, необхідний для прискорення приводу, $M_{над} = (0,2 \dots 0,3)M_n$, (в середньому $0,25M_n$), звідки:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{тр} + M_{над}}{M_{нн}}} \right) \cdot 100\%.$$

На практиці часто зручніше користуватися не самими моментами а кратностями цих моментів до номінального моменту:

$$\mu_0 = M_{нн}/M_n; \quad \lambda_m = M_{тр}/M_n; \quad \lambda_{над} = M_{над}/M_n,$$

тоді:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_m + \lambda_{над}}{\mu_0}} \right) \cdot 100\%.$$

Якщо відоме допустиме падіння напруги а необхідно підібрати за номінальним моментом двигун (кратністю пускового моменту) з урахуванням вимог робочої машини, можна скористатися:

$$\mu_0 = \frac{\lambda_m + \lambda_{над}}{1 - (\Delta U/100)^2}.$$

Перевірка правильності вибору електродвигуна за умовами стійкості роботи раніше включених двигунів. Для того, щоб при запуску коротко замкнутого асинхронного двигуна, спів розмірної з джерелом живлення потужності, не зупинились раніше включені двигуни, зниження напруги на їх затискачах не повинні перевищувати величини, при яких значення максимального моменту двигуна знизиться до значення моменту опору робочої машини $M_{нав}$. В цьому випадку порівнюються критичний момент двигуна при даній нарузі та найбільший момент, взятий з навантажувальної діаграми. За аналогією падіння напруги:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{M_{нав}}{M_{max}}} \right) \cdot 100\%.$$

де $M_{нав}$ – необхідний момент на приводі раніше включеного двигуна;

M_{max} – максимальний (критичний) раніше включеного двигуна, при номінальній напрузі. Якщо врахувати що $\mu_k = M_{max}/M_n$; $\lambda_{нав} = M_{нав}/M_n$; то:

$$\Delta U = \left(1 - \sqrt{\frac{\lambda_{нав}}{\mu_k}} \right) \cdot 100\%.$$

Для перевірки стійкості роботи раніше включених двигунів при заданому падінні напруги, що викликане запуском нового двигуна, необхідно визначити потрібну перевантажувальну здатність працюючого двигуна:

$$\mu_k = \frac{\lambda_{нав}}{1 - (\Delta U/100)^2}.$$

При змінному навантаженні потужність двигуна, яка визначена за умовами нагрівання (методом еквівалентних величин) повинна бути перевірена на механічне перевантаження $\mu_k = M_{max}/M_n$. Враховуючи можливість зниження напруги при перевантаженнях, стараються щоб ні одне із миттєвих значень навантажувального моменту не перевищувало (0,7...0,8) M_{max} .

7. Вибір способу з'єднання двигуна з робочою машиною

При з'єднанні двигуна з робочою машиною залежно від його конструкції та способу монтажу найчастіше використовують три основні види передач обертового моменту: пружною муфтою, клиновидним або плоским пасом, зубчатою передачею. На вал двигуна крім обертового моменту діють поперечні (радіальні) та повздовжні (аксіальні) сили, які створюються цими передачами, силою від маси ротора з валом, а також сили одностороннього магнітного притягання.

При виборі двигуна необхідно перевірити допустиме навантаження на виступаючий кінець вала за такими параметрами: прогин вала; допустимі напруження, які визначаються матеріалом вала; довговічність підшипників.

Оскільки методика точного визначення радіальних та аксіальних сил відсутня, користуються наближеними методами.

При з'єднанні двигуна з робочою машиною через пружну муфту радіальна сила, H , визначається за емпіричною формулою:

$$F_{p1} = 5700\sqrt{P/n}, \quad (8.1)$$

де P - потужність на валу, кВт; n - частота обертання вала, об/хв.

При пасовій передачі:

$$F_{p2} = 1,96 \cdot 10^7 \frac{P}{nD} C_y, \quad (8.2)$$

де D - діаметр шківів, мм; C_y - коефіцієнт, який залежить від виду паса (для клиновидного паса $C_y = 2-2,5$).

Радіальні сили при ланцюговій передачі, H :

$$F_{p3} = 1,96 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d, \quad (8.3)$$

де D - діаметр діляльного кола зірочки, мм; C_k - коефіцієнт, який враховує додаткову силу, що виникає в зубчатих та ланцюгових передачах ($C_k = 1,1-1,3$ при одному зачепленні, $C_k = 0,7-0,8$ при двох зачепленнях); C_d - коефіцієнт, який враховує вид привідного механізму. Для основної групи сільськогосподарських машин (конвеєри, насоси, вентилятори, компресори, дробарки, подрібнювані тощо) $C_d = 1,1-1,5$.

При прямо зубчатій передачі:

$$F_{p4} = 2,07 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d. \quad (8.4)$$

При косо зубчатих передачах з кутом скошування β_0 радіальна та аксіальна сили, H , відповідно визначаються за формулами:

$$F_{p5} = \frac{1}{\cos \beta_0} 2,07 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d, \quad (8.5)$$

$$F_{a5} = \frac{1}{\cos \beta_0} 1,96 \cdot 10^7 \frac{P}{nD_1} C_k C_d. \quad (8.6)$$

Аксіальна сила діє на підшипники та створює напруження в матеріалі вала. Ця сила зумовлюється реакцією вентилятора на валу двигуна, вагою ротора при вертикальному розміщенні вала, а також аксіальною складовою сили при з'єднанні двигуна з робочим органом за допомогою косо зубчатої передачі. Реакція вентилятора визначається за тиском повітря, який він створює, зі зворотним знаком.

При вертикальному розміщенні ротора додається маса деталей, закріплених на валу.

Одержані значення радіального та аксіального навантажень на виступаючий кінець вала порівнюють з допустимими, які розраховуються за спеціальними діаграмами, наведеними в довідковій літературі та даними заводських інструкцій з експлуатації двигунів.

Якість підшипників, тип з'єднання двигуна з машиною, якість монтажу двигуна і з'єднань суттєво впливають на рівень шуму та вібрації двигуна, які в даний час є також нормованими величинами.

Рівень шуму двигуна визначається в децибелах на відстані 1 м від поверхні двигуна при холостому ході. Для двигунів потужністю від 0,55 до 11,0 кВт він знаходиться в межах 74-82 дБ (двополюсні двигуни), 70-81 дБ (чотириполюсні), 60-78 дБ (шестипольсні). Рівень вібрації визначається величиною віброшвидкості, мм/с, для якої встановлені такі допустимі значення: для двигунів з висотою осі обертання 56-132 мм - 1,8 мм/с, 160-225 мм - 2,8 мм/с.

Контрольні запитання:

1. Які вихідні дані необхідно мати для вибору електропривода?
2. Які основні етапи вибору електропривода?
3. Які існують електричні модифікації асинхронних двигунів, для приводу яких машин вони застосовуються?
4. Які конструктивні виконання електродвигунів застосовуються у сільськогосподарському виробництві?
5. Як вибирають електродвигуни за ступенем захисту від дії навколишнього середовища, кліматичним виконанням та категорією розміщення?
6. Які необхідно виконувати перевірки при виборі електродвигуна?
7. Які основні показники надійності застосовуються при оцінці електроприводів?
8. Як виконують техніко-економічну оцінку електропривода?

Література:

1. Електропривод: Навчальний посібник/ О.Ю. Синявський, П.І. Савченко, В.В. Савченко, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський, Ю.М. Хандола, І.П. Ільчов; За ред. О.Ю. Синявського. - К.: Аграр Медіа Груп, 2013.-586 с. ISBN 978-617-646-201-9;

2. Електропривод: підруч. для вузів. Ч.1/О.С. Марченко, Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, Є.Л. Жулай; за ред. О.С. Марченка. – К. : Урожай, 1995. – 207 с.. – ISBN 5-337-01695-4;

3. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, О.С. Марченко та ін.; Ред. Є.Л. Жулай. – К. : Вища освіта, 2001. – 288 с.. – ISBN 966-95995-2-0.