Тема. 3. Розрахунок потужності електродвигунів.

1. Економічне значення правильного вибору електродвигунів за потужністю.

Високопродуктивна, надійна й економічно вигідна експлуатація виробничого агрегату забезпечується лише тоді, коли електродвигун, призначений для привода робочої машини, за потужністю вибраний правильно, тобто в повній відповідності до її режиму роботи і навантаження.

Застосування електродвигунів завищеної потужності призводить до збільшення капітальних затрат на спорудження електроприводів, оскільки вартість електродвигунів та іншого електрообладнання при збільшенні потужності зростає. При недовантаженні двигуна нераціонально використовуються дорогі провідникові та інші матеріали, з яких він виготовлений, знижується к. к. д., внаслідок чого зростають непродуктивні витрати електроенергії. В асинхронних двигунах, крім того, погіршується коефіцієнт потужності, що негативно впливає на роботу розподільних електромереж і джерела електроенергії.

Підвищення навантаження вибраного двигуна шляхом збільшення продуктивності робочої машини в більшості випадків неможливе з конструктивних причин або призводить до збільшення питомих витрат електроенергії на виконання технологічного процесу.

Двигун заниженої потужності, порівняно з необхідною, при експлуатації робочої машини з номінальною продуктивністю перевантажується, і температура ізоляції його обмоток зростає понад допустиму, внаслідок чого відбувається інтенсивне її старіння і строк служби двигуна скорочується.

Знизити навантаження двигуна іноді можна шляхом зменшення продуктивності робочої машини, але при цьому здебільшого зростають питомі витрати електроенергії на виконання технологічного процесу.

Отже, правильний вибір потужності електродвигунів, призначених для привода робочих машин, має велике практичне значення. Від нього залежать не тільки початкові капітальні затрати на спорудження електропривода, а й техніко-економічні показники роботи всього електрифікованого виробничого агрегату.

Потужність електродвигуна залежить від його геометричних розмірів, частоти обертання, властивостей матеріалів, з яких він виготовлений, умов тепловіддачі, температури охолоджувального середовища тощо.

Залежність потужності від головних геометричних розмірів та частоти обертання наближено виражається рівнянням

$$P = K \cdot D_2 \cdot l \cdot n \qquad (3.1)$$

де K - коефіцієнт пропорціональності; D і l - відповідно внутрішній діаметр і розрахункова довжина осердя статора асинхронного двигуна або зовнішній діаметр і розрахункова довжина осердя якоря двигуна постійного струму; n - частота обертання.

З рівняння (3.1) видно, що при збільшенні геометричних розмірів і частоти обертання потужність двигуна зростає.

2. Класи ізоляції електродвигунів.

Матеріали, з яких виготовляють електродвигуни, поділяються на активні, конструктивні та електроізоляційні.

Активними називають магнітні (магнітопровідні) та електропровідні матеріали.

Магнітні матеріали (електротехнічна сталь, чавун, стальне литво, листова і кована сталь, спеціальні стальні сплави) використовують для виготовлення різних частин магнітопроводів електродвигунів. Вони характеризуються в основному магнітною проникністю та втратами на гістерезис і вихрові струми. Використання магнітних матеріалів з більшою магнітною проникністю і меншими втратами дає можливість зменшити об'єм осердя, а при однакових розмірах осердя - збільшити потужність двигуна.

Електропровідні матеріали (мідь, алюміній, латунь, бронза) застосовують при виготовленні обмотувальних проводів, колекторів, контактних кілець та інших струмоведучих частин електродвигунів постійного і змінного струмів. Найважливішою властивістю цих матеріалів є їх електропровідність. Чим вища електропровідність матеріалів, з яких виготовлені струмоведучі частини двигуна, тим при незмінних інших умовах більша його потужність.

Конструктивними вважають матеріали, з яких виготовляються деталі і частини двигуна, які сприймають і передають механічні навантаження, захищають двигун від впливу навколишнього середовища та об'єднують усі його елементи в єдиний електротехнічний пристрій (вал, підшипники, підшипникові щити, корпус і т. д.). До них належать: сірий чавун, вуглецева сталь, алюмінієві сплави, пластмаси -тощо. Найважливішою властивістю конструктивних матеріалів є їх механічна міцність. Застосування більш міцних матеріалів сприяє зменшенню геометричних розмірів і підвищенню потужності двигуна.

Електроізоляційні матеріали призначені для електричної ізоляції струмоведучих частин двигуна. Основними властивостями електроізоляційного матеріалу є його нагрівостійкість, теплопровідність, електрична та механічна міцність. Найбільше значення має нагрівостійкість.

Допустима температура нагрівання електродвигунів визначається класом нагрівостійкості застосовуваних у них ізоляційних матеріалів. В електричних машинах використовують ізоляційні матеріали таких класів нагрівостійкості: А, Е, В, Р, Н, С (табл. 3.1).

Температура певної частини електродвигуна залежить не тільки від навантаження, а отже, від втрат потужності, а й від температури охолоджуючого середовища. Найчастіше це повітря, 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 $\theta_{доп}$ нагрівання елементів електродвигунів прийнято вказувати допустиме перевищення температури $\tau_{доп}$ над температурою охолоджуючого середовища, яке визначається різницею:

$$\tau_{ДОП} = \theta_{ДОП} - 40^{\circ} C \qquad (3.2)$$

Таблиця 3.1. Класи ізоляції електродвигунів.

Клас нагрівостійкості ізоляції	Допустима гранична температура, ºС	Короткий перелік основних груп ізоляційних матеріалів
A	105	Волоконні матеріали із целюлози, бавовни або натурального, штучного і синтетичною шовку, просочені рідким електроізоляційним матеріалом.
E	120	Синтетичні органічні матеріали (плівки, волокна, смоли, компаунди та ін.)
B	130	Матеріали на основі слюди (у тому числі на органічних підкладках,), азбесту і скловолокна, що застосовуються з органічними зв'язуючими і просочуючими сполуками
F	155	Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолокна, що застосовуються із синтетичними зв'язуючими і просочуючими сполуками, які відповідають даному класові нагрівостійкості.
H	180	Матеріали на основі слюди, азбесту і скловолокна у сполученні з кремнійорганічними зв'язуючими і просочуючими сполуками, кремнійорганічні еластоміри.
C	Вище 180 °C	Слюда, керамічні матеріали, скло, кварц або їх комбінації без зв'язуючих або з неорганічними і елементоорганічними сполуками

Обмотки електродвигунів досягають допустимої температури при номінальному завантаженні, температурі охолоджуючого середовища +40 °C і висоті над рівнем моря 1000 м. Якщо температура охолоджуючого середовища перевищує +40 °C або двигун працює на висоті більше 1000 м над рівнем моря, то навантаження на нього повинно бути зменшене. При температурі нижче +40 °C теоретично допустимо збільшення навантаження двигуна понад номінальне. Але на практиці цього не допускають з двох причин. По-перше, різниця між середньою і максимальною температурою (найбільш нагрітої частини обмотки) зростає приблизно пропорційно квадратові коефіцієнта завантаження двигуна, а

це може призвести до місцевого перегрівання обмотки. По-друге, при цьому знижується перевантажувальна здатність двигунів, особливо асинхронних.

Перегрівання двигуна прискорює спрацювання ізоляційної конструкції і призводить до передчасного виходу двигуна з ладу. Так, перевищення температури ізоляції класу В на 8 °С вище допустимої скорочує строк служби ізоляції у два рази.

3. Нагрівання і охолодження електродвигунів.

Електродвигун є дуже складним об'єктом для дослідження теплових процесів, що відбуваються в ньому. Під час роботи в різних частинах електродвигуна відбуваються втрати потужності, що спричиняють до їх нагрівання і одночасно до теплопередачі. Тому при вивченні теплових процесів електродвигун розглядають як систему однорідних тіл, зв'язаних між собою і охолоджувальним середовищем тепловими потоками. Для опису цих процесів складають досить громіздку систему диференціальних рівнянь, яка ще більше ускладнюється при дослідженні змінних режимів навантаження.

Тому при перевірочних розрахунках дослідження теплових процесів у електродвигуні проводять із такими допущеннями:

- двигун розглядається як однорідне тіло з нескінченно великою теплопровідністю і, як наслідок, з однаковою температурою в усіх точках у кожний момент часу;
- тепловіддача в навколишнє середовище прямо пропорційна різниці температур двигуна і навколишнього середовища;
- температура охолоджуючого середовища постійна:
- теплоємність двигуна, потужність теплових втрат і коефіцієнт теплопередачі не залежать від його температури.

Рівняння теплового балансу двигуна за нескінченно малий проміжок часу *dt* має вигляд:

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 \qquad (3.3)$$

де dQ - кількість теплоти, яка виділяється у двигуні; dQ_1 - кількість теплоти, що віддається в навколишнє середовище; dQ_2 - кількість теплоти, що витрачається на підвищення температури електродвигуна.

Кількість теплоти, яка виділяється у двигуні, визначається за рівнянням:

$$dQ = \Delta P \cdot dt \qquad (3.4)$$

де ΔР- втрати потужності в електродвигуні, Вт.

Кількість теплоти, що віддається в навколишнє середовище:

$$dQ_1 = A \cdot \tau \cdot dt \qquad (3.5)$$

де A — тепловіддача двигуна, тобто кількість теплоти, що віддається охолоджуючому середовищу за 1 с при різниці температур двигуна і навколишнього середовища в 1 °С, Дж/с˚С; τ - перевищення температури двигуна над температурою охолоджуючого середовища, °С.

Кількість теплоти, що витрачається на нагрівання двигуна, пропорційна приросту температури, тобто:

$$dQ_2 = C \cdot d\tau \qquad (3.6)$$

де С - теплоємність двигуна, Дж/°С, $d\tau$ - приріст температури двигуна, °С, за нескінченно малий проміжок часу.

Після математичних операцій одержимо рівняння нагрівання електродвигуна:

$$\tau = \frac{\Delta P}{A}\left(1 - e^{-\frac{A}{C}t}\right) + \tau_{ПОЧ} e^{-\frac{A}{C}t} \qquad (3.7)$$

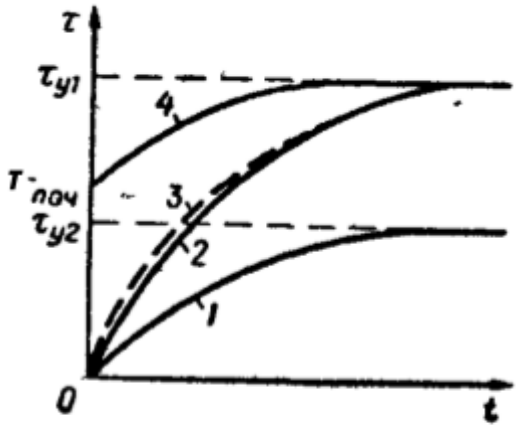


Рис.3.1 Криві нагрівання електродвигуна

Аналізуючи рівняння (3.7), можна зробити висновок, що процес нагрівання електродвигуна описується експоненціальним законом. На початку процесу, коли $t = 0$, початкове перевищення температури двигуна було $\tau = \tau_{ПОЧ}$, а за нескінченно тривалий час $t = \infty$ настає теплова рівновага, тобто перевищення температури досягає деякого усталеного значення (рис. 3.1);

$$\tau_y = \frac{\Delta P}{A} \qquad (3.8)$$

Згідно з прийнятими допущеннями теплоємність C і тепловіддача A двигуна в процесі нагрівання залишаються незмінними. Отже, їх відношення є також незмінним, має розмірність часу і називається сталою часу нагрівання електродвигуна:

$$T_н = \frac{C}{A} \qquad (3.9)$$

де $Тн$ - стала часу нагрівання електродвигуна.

Сталою часу нагрівання електродвигуна називають час, протягом якого перевищення температури двигуна, який працює з постійним навантаженням і з віддачею теплоти в охолоджуюче середовище, змінюючись за експоненціальним законом, зростає від 0 до $0{,}632\tau_y$.

На рис. 3.1 побудовані криві *2* і *4* нагрівання двигуна відповідно для $\tau_{ПОЧ} = 0$ і $\tau_{ПОЧ} > 0$ при одному і тому ж навантаженні. Якщо навантаження двигуна зменшити, зменшаться і втрати потужності в ньому , що призведе до зниження усталеної температури . Цьому випадку відповідає крива *1* за умови, $\tau_{ПОЧ} = 0$. Крива *3* нагрівання двигуна одержана експериментальне. Як видно з графіка, на початку процес нагрівання в реальних умовах інтенсивніший, ніж теоретично описаний експонентою. І тільки при $\tau > (0{,}5...0{,}6)\tau_y$ експериментальна крива наближається до теоретичної. Це пояснюється тим, що на відміну від прийнятої моделі на початку процесу завдяки тепловим опорам температура тепловіддаючих поверхонь двигуна значно нижча, ніж температура гріючих поверхонь (мідь обмотки), а значить, і нижча його тепловіддаюча здатність. Тому на підвищення температури двигуна витрачається більша частина енергії, ніж це передбачається

теоретично.

Якщо нагрітий двигун вимкнено з мережі, то втрати енергії в ньому дорівнюють нулю і $\tau_y = 0$. У цьому випадку процес охолодження характеризується кривою *1* (рис.3.2). При зменшенні навантаження усталена температура $\tau_{y.o}$ буде нижчою за початкову $\tau_{поч.о}$ і процес описується, кривою *2* (рис.3.2).

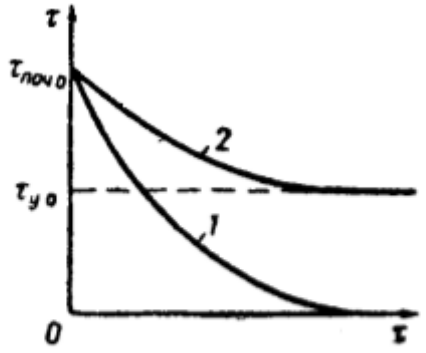


Рис3.2. Криві охолодження двигуна

Згідно з рівнянням (3.7) час зміни температури від початкового до усталеного значення нескінченно великий. Практично ж теплова рівновага настає за час $t \approx$ (3...5) $T_н$, тобто коли перевищення температури досягне $(0,95...0,99)\ \tau_y$.

Процеси нагрівання і охолодження електродвигунів відносно повільні. Залежно від номінальної потужності, номінальної швидкості обертання, конструктивного виконання і способу охолодження сталі часу нагрівання знаходяться в межах від кількох хвилин до кількох годин. Закриті двигуни більшої потужності з меншою частотою обертання мають більшу сталу часу нагрівання.

Сталу часу нагрівання можна визначити трьома методами:

- користуючись кривою нагрівання і усталеним перевищенням температури над температурою охолоджуючого середовища;
- методом дотичної ;
- методом трьох точок.

За першим методом на осі τ від початку координат відкладають значення $T = 0,632\tau_y$ (рис. 3.3), проводять горизонталь до перетину з кривою нагрівання у точці *А*. Потім з точки *А* опускають перпендикуляр на вісь *t*. Стала часу нагрівання визначається довжиною відрізка *ОБ*.

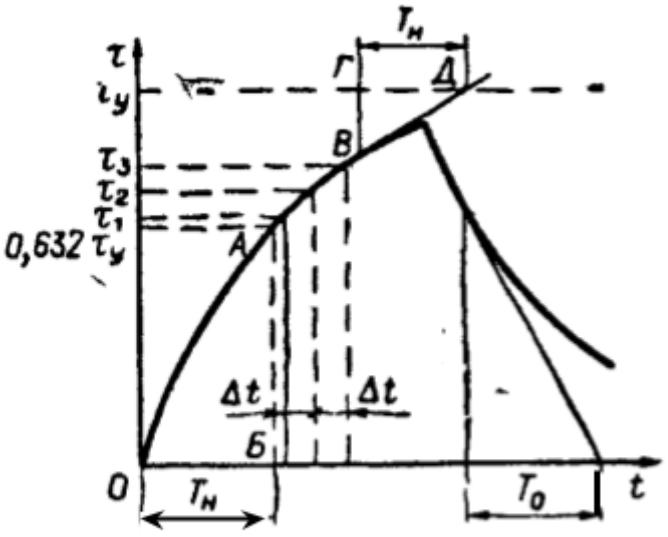


Рис.3.3 Визначення сталих часу нагрівання і охолодження

За методом дотичної до деякої точки *В* (див рис.3.3) кривої нагрівання (краще у другій половині кривої) проводять дотичну і знаходять її проекцію *ГД* на горизонталь, проведену через τ_y. Довжина цієї проекції відповідає значенню сталої часу нагрівання $T_Н$. Аналогічно знаходять значення сталої охолодження

T_O, тільки в цьому випадку усталене перевищення температури при охолодженні $\tau_{у.о} = 0$.

Методом трьох точок користуються, коли не визначено значення $\tau_у$. Для цього на кривій нагрівання через однакові проміжки часу Δt (рис. 3.3) знаходять значення перевищення температури τ_1, τ_2, τ_3. Сталу часу нагрівання визначають, користуючись формулою:

$$T_н = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\tau_2 - \tau_1}{\tau_3 - \tau_2}} \qquad (3.10)$$

Значення сталих часу нагрівання і охолодження у двигунів з незалежною вентиляцією однакові між собою в тому випадку, коли після вимикання двигуна інтенсивність охолодження не змінюється.

При вимиканні або зниженні швидкості обертання двигуна з самовентиляцією інтенсивність охолодження погіршується, що спричиняє до зменшення тепловіддачі. Тому стала часу охолодження самовентильованого двигуна T_O при зупинці більша за сталу нагрівання $T_Н$..

4. Навантажувальні діаграми.

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.

Навантажувальною діаграмою робочої машини називається залежність моменту статичних опорів і статичної потужності робочої машини від часу, тобто $M_C = f(t)$, $P_C = f(t)$. Залежно від характеру робочого процесу навантажувальні діаграми можна умовно розділити на три групи.

1. Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність у процесі роботи не змінюються. До них належать навантажувальні діаграми насосів, вентиляторів при постійній подачі, зерноочисних машин, конвеєрів при роботі з постійним завантаженням тощо.

2,. Навантажувальні діаграми машин, v яких статичний момент або потужність змінюються у часі періодично з певною закономірністю. Це сіно - та соломопреси, лісопильні рами, штампувальні верстати, порційні змішувачі кормів, підйомники та ін.

3. Навантажувальні діаграми робочих машин, у яких статичний момент або потужність змінюються у часі випадково. До н"йх відносяться навантажувальні діаграми кормодробарок, змішувачів кормів безперервної дії, плющилок, гноєтранспортерів тощо. Величина навантаження цих машин залежить не тільки від об'єктивних факторів (кількісні та якісні показники перероблюваного продукту), а й від суб'єктивних (наприклад, від робітника, що подає солому в

соломосилосорізку).

На рис. 3.4 наведені статичні навантажувальні діаграми вентилятора, штампувального верстата і кормодробарки, характерні для *1*, *2* і *3* груп відповідно.

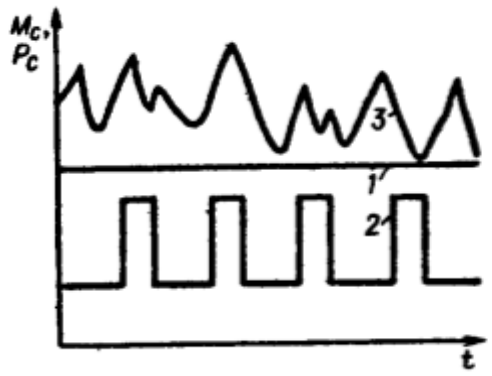


Рис. 3.4. Навантажувальні діаграми робочих машин: 1 - вентилятора; 2 - штампувального вер стата; 3 - дробарки кормі.в

Навантажувальні діаграми перших двох груп можна розрахувати аналітично. Розрахунок навантажувальних діаграм *3* групи дає дуже наближені результати. Тому для вибору потужності двигуна їх знімають експериментально. Для цього на робочу машину встановлюють електродвигун орієнтовно вибраної потужності. Під час роботи на різних режимах самописними приладами записують струм чи потужність, споживані двигуном з мережі, або момент, який двигун розвиває На валу. Одержані графіки називають навантажувальними діаграмами двигуна (привода).

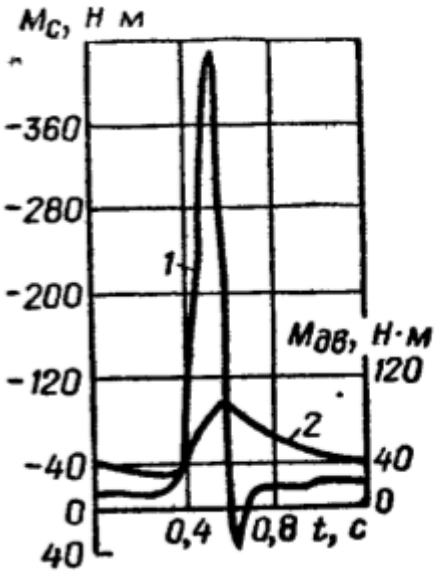


Рис.3.5. Навантажувальні діаграми: 1 – соломопреса; 2 – електродвигуна.

Навантажувальна діаграма двигуна враховує не тільки статичні, а й динамічні навантаження, що виникають при роботі системи електродвигун - робоча машина. Оскільки перехідні процеси в системі помітно впливають на зміну потужності, моменту або струму двигуна, то при роботі із змінним навантаженням навантажувальна діаграма двигуна відрізняється від статичної навантажувальної діаграми робочої машини (рис. 3.5). Різниця між ними тим більша, чим більший коефіцієнт інерції системи і чим м'якша механічна характеристика двигуна. Тому методики вибору електродвигунів за потужністю при постійних значеннях навантаження і швидкості обертання та при змінних цих параметрах суттєво різняться між собою.

5. Класифікація режимів роботи електродвигунів.

Різні умови роботи механізмів обумовлюють режими роботи електроприводів. Сучасними стандартами передбачено вісім номінальних (типових) режимів з умовними позначеннями від *S1* до *S8*.

1. Тривалий режим (*S1*) - режим роботи з постійним навантаженням і тривалістю, достатньою для досягнення теплової рівноваги двигуна (рис. 3.6, а).

2. Короткочасний режим (*S2*) - режим роботи з постійним навантаженням протягом певного відрізку часу, недостатнього для досягнення теплової рівноваги, після чого настає стан спокою протягом часу, достатнього для того, щоб температура машини зрівнялася з температурою охолоджуючого середовища з точністю до 2 К (рис. 3.6, б). У цьому режимі рекомендуються такі тривалості роботи з навантаженням: 10, 30, 60 і 90 хв, які вказують після скороченого позначення режиму. Наприклад: *S2, 30 хв*.

3. Повторно-короткочасний режим (*S3*) - це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів роботи при постійному навантаженні і вимкненого нерухомого стану (паузи); тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу, а пускові струми суттєво на нагрівання не впливають (рис. 36, в). Режим характеризується тривалістю вмикання (*ТВ*), яка визначається за формулою:

$$ТВ = \frac{t_p}{t_p + t_o} 100\% = \frac{t_p}{t_ц} 100\% \qquad (3.11)$$

де t_p - тривалість роботи; t_o - тривалість паузи; $t_ц$ - тривалість циклу.

У цьому режимі тривалість циклу не перевищує 10 хв. У протилежному випадку режим вважається тривалим. Стандартні значення тривалості вмикання *ТВ* = 15, 25, 40 і 60 % вказують після скороченого позначення режиму. Наприклад: *S3 25 %.*

4. Повторно-короткочасний режим з частими пускам (*S4*) - послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періодів пуску, роботи з постійним навантаженням і періоду спокою; тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за. час одного робочого циклу (рис. 3.6, *г)*. У цьому режимі пускові втрати суттєво впливають на зростання температури машини. Зупинка здійснюється за допомогою механічного гальма або способом самогальмування, тому після вимикання обмотки двигуна не нагріваються. Режим характеризується тривалістю вмикання (*ТВ*), числом пусків за годину і коефіцієнтом інерції привода -10 .Нормоване число пусків за годину 30, 60, 120 і 240. Нормовані значення коефіцієнта інерції 1,2; 1,6; 2,5; 4;6,3, 10.

5. Повторно-короткочасний режим з частими пусками і електричним гальмуванням (*S5*) - послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду пуску, періоду роботи з постійним навантаженням,

періоду швидкого електричного гальмування і періоду спокою; тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу (рис. 3.6, *д)*. У цьому режимі втрати при пуску і електричному гальмуванні суттєво впливають на перевищення температури машини. Режим характеризується такими ж номінальними даними, як і режим *S4*.Нормовані значення коефіцієнта інерції в режимі *S5*: 1,2; 1,6; 2; 2,5; 4.

6. Переміжний режим (*S6*) - це послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду роботи з постійним навантаженням і періоду холостого ходу; тривалість цих періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу (рис. 3.6, е).

Режим характеризується тривалістю навантаження (*TH*).

У цьому режимі тривалість циклу не перевищує 10 хв. Стандартні тривалості навантаження *TH* = 15, 25, 40 або 60 % вказують після умовного позначення режиму. Наприклад: *S6 40 %.*

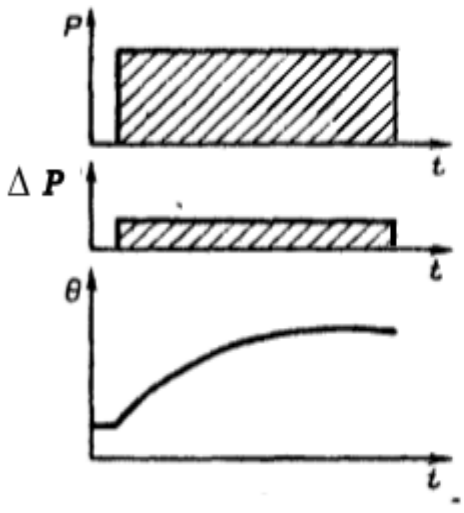
7. Переміжний режим з частими реверсами (*S7*) - послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду пуску, періоду роботи з постійним навантаженням і періоду електричного гальмування. Період спокою відсутній. Тривалість періодів недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу (рис. 3.6, є). Режим характеризується коефіцієнтом інерції і числом реверсів за годину (30, 60, 120 і 240). Наприклад: S7, FI = 4, число реверсів за годину 120.

8. Переміжний режим роботи з двома або більше ступенями частот обертання (*S8*) - послідовність однакових робочих циклів, кожний з яких складається з періоду прискорення, роботи з постійним навантаженням, що відповідає заданій частоті обертання, за яким слідує один або кілька періодів роботи з іншими постійними навантаженнями, що відповідають іншим частотам обертання. Період спокою відсутній. Тривалість кожного робочого періоду недостатня для досягнення теплової рівноваги за час одного робочого циклу (рис. 3.6, ж). У цьому режимі втрати потужності при переході з однієї частоти обертання на, іншу суттєво впливають на перевищення температури машини. Для типового режиму *S8* після скороченого позначенні вказують коефіцієнт інерції FI, число циклів за годину, а також навантаження, частоту обертання і тривалість вмикання на кожному ступені частоти обертання. Наприклад: S8 FI = 1,6; число циклів за годину 60;

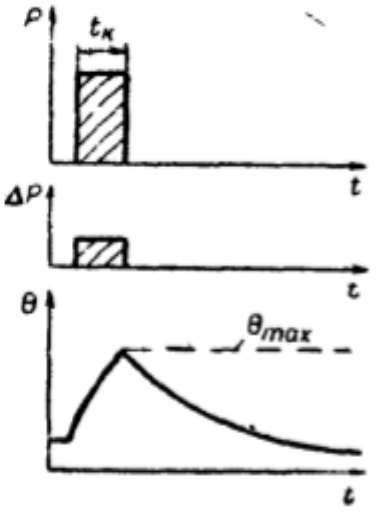
16 кВт, 740 об/хв, 30 %;

40 кВт, 1460 об/хв, 30 %;

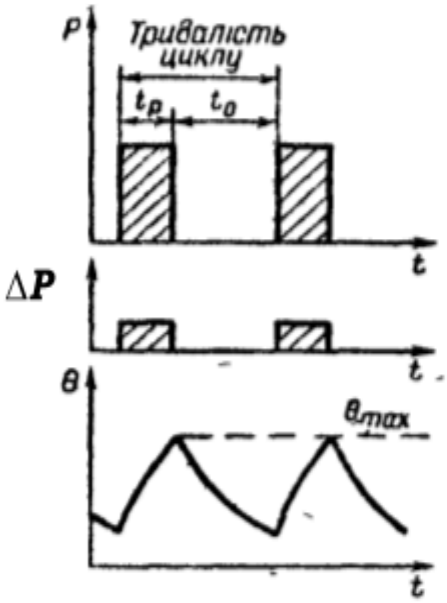
25 кВт, 980 об/хв, 40 %.


P
t
Δ P
t
θ
t

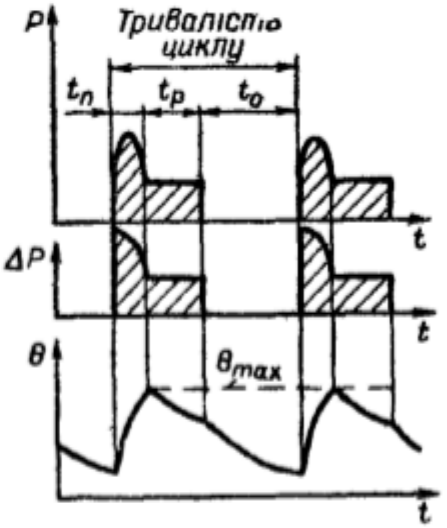
а


P
$t_к$
t
ΔP
t
θ
θ_{max}
t

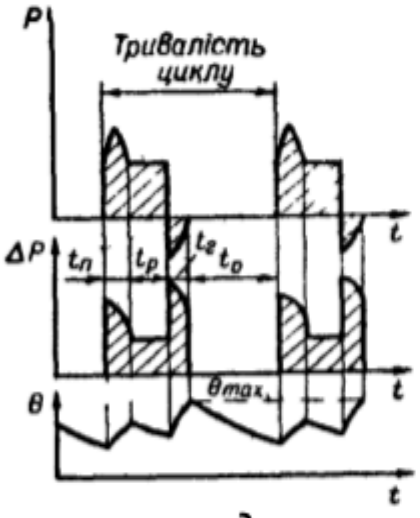
б


P
Тривалість циклу
$t_р$
t_0
t
ΔP
t
θ
θ_{max}
t

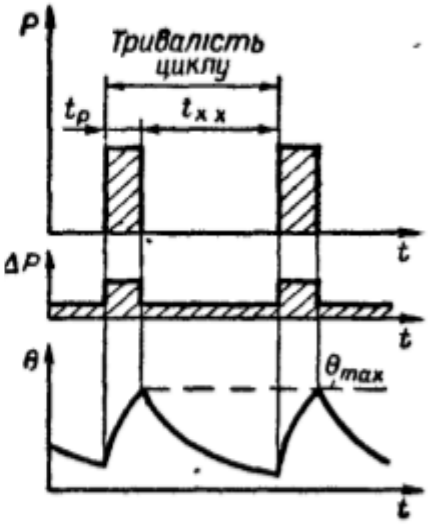
в


P
Тривалість циклу
$t_п$
$t_р$
t_0
t
ΔP
t
θ
θ_{max}
t

г


P
Тривалість циклу
ΔP
$t_п$
$t_р$
$t_в$
t_0
t
θ
θ_{max}
t

д


P
Тривалість циклу
$t_р$
$t_{x\,x}$
t
ΔP
t
θ
θ_{max}
t

е

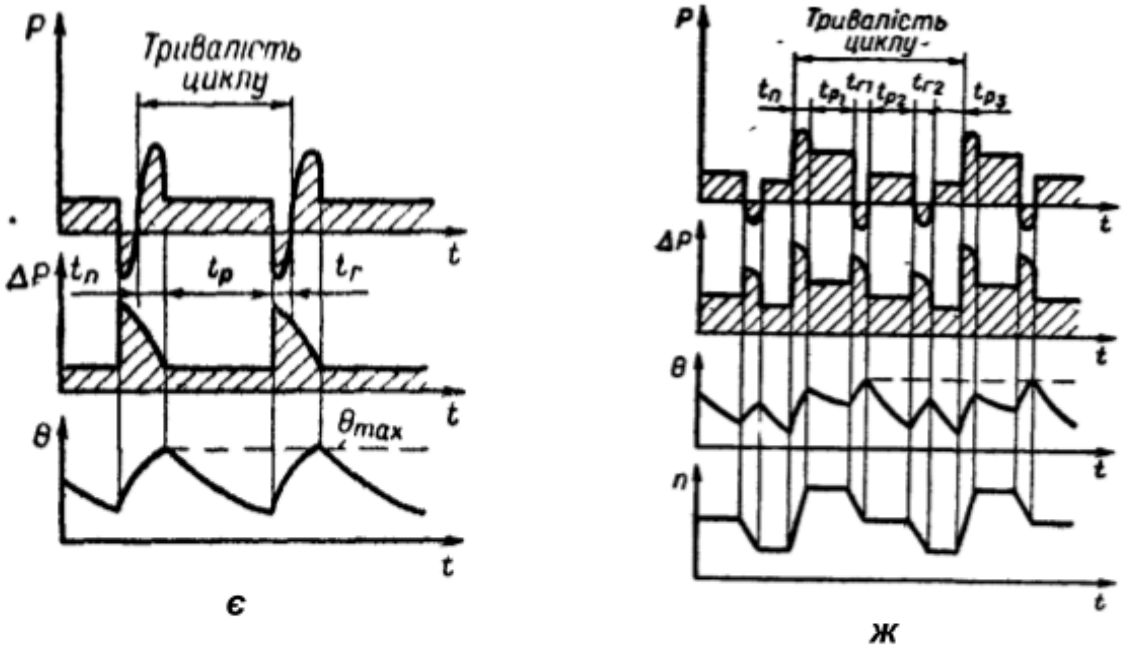


Рис.3.6. Залежність потужності Р на валу двигуна, потужності втрат ΔР і температури Θ від часу:
а - у тривалому режимі роботи (S1); б - у короткочасному режимі роботи (S2); в - у повторно-короткочасному режимі роботи (S3);
г - у повторно-короткочасному режи мі з частими пусками (S4);
д - у повторно-короткочасному режимі з частими пусками і електричним гальмуванням (S5);
е - у пе реміжному режимі (S6); є - у переміжному режимі з частими реверсами (S7);
ж - у переміжному режимі роботи з трьома ступенями частот обер тання

6. Визначення потужності електродвигуна при тривалому режимі роботи.

Номінальну потужність $P_{ном}$ електродвигуна, призначеного для тривалого режиму роботи з постійним навантаженням, вибирають за його розрахунковою потужністю $P_{дв}$, виходячи з умови: $P_{ном} \geq P_{дв}$.

Розрахункова потужність двигуна

$$P_{дв} = \frac{P_{маш}}{\eta_{пер}}, \qquad (3.12)$$

де $P_{маш}$ - потужність, споживана робочою машиною, кВт; $\eta_{пер}$ - к. к. д. передачі.

Потужності, споживані робочими машинами, визначають за теоретичними чи емпіричними формулами або експериментальне.

В тих випадках, коли момент статичних опорів робочої машини на початку руху (момент зрушення $M_{с.зр}$) дуже великий, вибраний двигун треба перевірити за умовами пуску. Пуск можливий, якщо

$$M_п = M_{ном}\mu_п = (1{,}2...1{,}3)M_{с.зр}, \qquad (3.13)$$

де $M_п$ - пусковий момент двигуна, Н·м; $\mu_п$ - кратність пускового моменту; $M_{с.зр}$ - момент зрушення робочої машини, Н·м.

Вибрати номінальну потужність електродвигуна, призначеного для

тривалого режиму роботи із змінним навантаженням, значно складніше, ніж з постійним. Вибір здійснюють за однією з його навантажувальних діаграм *I*, *M або P =f(t)*. При цьому, якщо номінальну потужність вибрати за максимальним значенням навантаження, то під час експлуатації двигун буде недовантажуватися у тепловому відношенні і температура ізоляції його обмоток буде нижчою від гранично допустимої для класу ізоляції, яка використана у двигуні, що економічно невигідно. Якщо ж вибрати її за мінімальним навантаженням, то двигун буде перевантажуватись і температура ізоляції перевищить гранично допустиму, що призведе до скорочення строку служби двигуна. При виборі номінальної потужності за середнім значенням навантаження не враховується квадратична залежність між кількістю теплоти, що виділяється у двигуні і струмом в його обмотках. Тому результат такого вибору буде неточним і двигун теж перегріватиметься. За середнім навантаженням номінальну потужність можна вибрати лише у тих випадах коли зміни його незначні. При цьому номінальна потужність мусить бути не менша від середньої потужності, визначеної за навантажувальною діаграмою, тобто повинна виконуватися умова $P_{ном} \geq P_{дв.ср.}$.

Оскільки при визначенні номінальних потужностей електродвигунів які випускаються нашою промисловістю, прийнято, що температура ізоляції обмоток двигуна дорівнює граничнодопустимій для класу ізоляції, використаної у двигуні, то правильно вибраною буде номінальна потужність, при якій у момент найбільшого навантаження температура ізоляції обмоток дорівнює або трохи менша від гранично допустимої. Проте методи розрахунку температури ізоляції дуже трудомісткі і малопридатні для практичного використання, тому на практиці номінальну потужність двигуна, призначеного для тривалого режиму роботи із змінним навантаженням, вибирають за простішими методами середніх витрат, еквівалентного струму еквівалентного моменту або еквівалентної потужності.

Еквівалентним струмом, моментом і потужністю називають такі постійні значення цих величин, при яких електродвигун нагрівається так само, як і при змінних їх значеннях, заданих у вигляді навантажувальних діаграм. У методах середніх втрат і еквівалентних величин замість температури за мірило нагрівання прийнято середні втрати потужності у двигуні, від яких вона залежить.

Вибір номінальної потужності електродвигуна за методами середніх втрат, еквівалентного струму, еквівалентного моменту і еквівалентної потужності здійснюють у такій послідовності.

1 За навантажувальною діаграмою робочої машини $M_c = f(t)$ *або* $P_c = f(t)$, одержаною шляхом розрахунків або експериментальне, визначають середнє значення моменту статичних опорів $P_{с.ср}$ або середню статичну потужність $P_{с.ср}$.

2. За моментом $M_{с.ср}$ або потужністю $P_{с.ср}$, враховуючи частоту обертання робочої машини, умови оточуючого середовища тощо, з каталогу електродвигунів попередньо вибирають двигун з номінальним моментом $M_{ном} = (1,2...1,3)M_{с.ср}$ або номінальною потужністю $P_{ном} = (1,2...1,3)\ P_{с.ср}$ і

записують його технічні дані.

3. Користуючись навантажувальною діаграмою робочої машини, технічними даними попередньо вибраного електродвигуна та зведеним до його вала моментом інерції системи «двигун - робоча машина», розраховують перехідні процеси електропривода і будують навантажувальну діаграму двигуна *I=f(t), M=f(t)* або *P=f(t)*. Навантажувальну діаграму двигуна можна одержати також експериментальне, використавши попередньо вибраний двигун для привода даної робочої машини і записавши діаграму за допомогою відповідного самописного приладу.

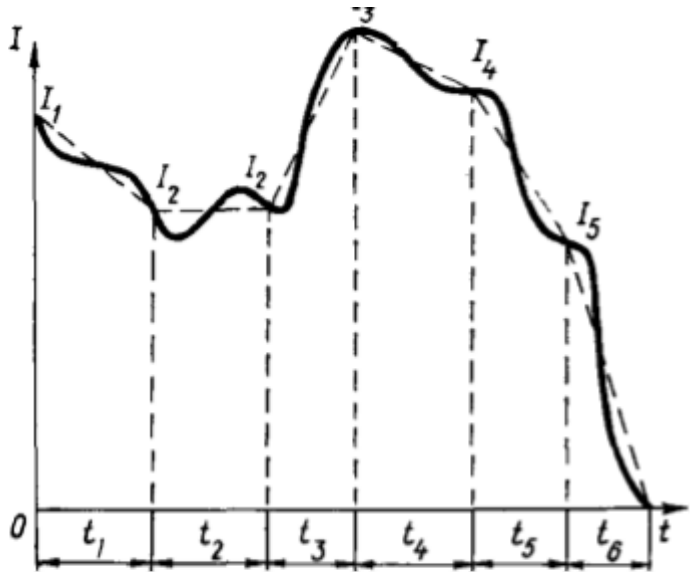


Рис. 3.7. Заміна криволінійного гра фіка навантаження ламаною лінією.

4. При користуванні методом середніх втрат за навантажувальною діаграмою *P=f(t)* і к. к. д. двигуна визначають втрати потужності ΔP в ньому при різних навантаженнях і будують діаграму $\Delta P=f(t)$.

Повні втрати потужності в електродвигуні при біжучому та номінальному значеннях навантаження можна визначити відповідно за формулами:

$$\Delta P = P\left(\frac{1}{\eta} - 1\right), \qquad (3.12)$$

$$\Delta P_{ном} = P_{ном}\left(\frac{1}{\eta_{ном}} - 1\right), \qquad (3.13)$$

де P і $P_{ном}$ - біжуче і номінальне значення потужності на валу двигуна, кВт; η і $\eta_{ном}$ - к. к. д. двигуна при цих потужностях. Значення к. к. д. наведені у каталозі двигунів.

5. За діаграмою $\Delta P=f(t)$, *I=f(t), M=f(t)* або *P=f(t),* залежно від прийнятого методу вибору номінальної потужності двигуна, визначають середні втрати потужності $\Delta P_{ср}$, еквівалентний струм I_e, еквівалентний момент M_e або еквівалентну потужність P_e.

У тих випадках, коли діаграми мають криволінійний характер, окремі їх ділянки замінюють ступінчастими або ламаними лініями, як показано на діаграмі струму (рис. 54), і для них визначають

$\Delta P_{ср}$, I_e, M_e або P_e.

Середні втрати потужності в електродвигуні: для прямокутних ділянок діаграм .

$$\Delta Pcp = \frac{\Delta P1t1 + \Delta P2t2 + ...\Delta Pntn}{t1 + t2 + ... + tn}, \quad (3.14)$$

для трапецієвидних ділянок

$$\Delta Pcp = \frac{\Delta P1 + \Delta P2}{2}, \quad (3.15)$$

для трикутних ділянок

$$\Delta Pcp = \frac{\Delta P1}{2}, \quad (3.16)$$

де ΔP_1, ΔP_2, ..., ΔP_n - відповідно втрати потужності у двигуні при навантаженнях P_1, P_2, ..., P_n; t_1, t_2, ..., t_n - тривалості роботи двигуна при цих навантаженнях. Еквівалентний струм:

для прямокутних ділянок навантажувальної діаграми двигуна:

$$I_e = \sqrt{\frac{I^2{}_1 t_1 + I^2{}_2 t_2 + ... + I^2{}_n t_n}{t_1 + t_2 + ... + t_n}} \quad (3.17)$$

для трапецієвидних ділянок:

$$I_e = \sqrt{\frac{I^2{}_1 + I1I_2 + I^2{}_2}{3}} \quad (3.18)$$

для трикутних ділянок:

$$I_e = \frac{I_1}{\sqrt{3}}, \quad (3.19)$$

Еквівалентний момент:

для прямокутних ділянок:

$$M_e = \sqrt{\frac{M^2{}_1 t_1 + M^2{}_2 t_2 + ... + M^2{}_n t_n}{t_1 + t_2 + ... + t_n}}, \quad (3.20)$$

для трапецієвидних ділянок

$$M_e = \sqrt{\frac{M^2{}_1 + M_1 M_2 + M^2{}_2}{3}}, \quad (3.21)$$

для трикутних ділянок:

$$M_e = \frac{M_1}{\sqrt{3}}, \quad (3.22)$$

Еквівалентна потужність:

для прямокутних ділянок

$$P_e = \sqrt{\frac{P^2{}_1 t_1 + P^2{}_2 t_2 + ... + P^2{}_n t_n}{t_1 + t_2 + ... + t_n}}, \qquad (3.21)$$

для трапеціївидних ділянок

$$P_e = \sqrt{\frac{P^2{}_1 + P_1 P_2 + P^2{}_2}{3}}, \qquad (3.22)$$

для трикутних ділянок

$$P_e = \frac{P_1}{\sqrt{3}}, \qquad (3.23)$$

де $I_1, I_2, ..., I_n$; $M_1, M_2, ..., M_n$; $P_1, P_2, ..., P_n$;- відповідно струми, моменти та потужності навантаження; $t_1, t_2, ..., t_n$ - тривалості роботи двигуна з цими навантаженнями.

6. Порівнюють номінальні втрати потужності $\Delta P_{ном}$ в попередньо вибраному двигуні з середніми втратами $\Delta P_{ср}$, номінальний струм $I_{ном}$ з еквівалентним струмом I_e, номінальний момент $M_{ном}$ з еквівалентним моментом M_e або номінальну потужність $P_{ном}$ з еквівалентною потужністю P_e. Якщо при цьому $\Delta P_{ном} \geq \Delta P_{ср}$, $I_{ном} \geq I_e$, $M_{ном} \geq M_e$ або $P_{ном} \geq P_e$, тобто різниця між $\Delta P_{ном}$ і $\Delta P_{ср}$, $I_{ном}$ і I_e, $M_{ном}$ *і* M_e або $P_{ном}$ *і* P_e менша від різниці номінальних втрат, струмів, моментів або потужностей двох найближчих за каталогом двигунів даного типу, то це означає, що за умовами нагрівання номінальна потужність попередньо вибраного двигуна відповідає вимогам даної робочої машини. Якщо ж номінальне значення $\Delta P_{ном}$, $I_{ном}$, $M_{ном}$ або $P_{ном}$ менше чи набагато більше відповідно від $\Delta P_{ср}$, I_e, M_e або P_e, то це показує, що номінальна потужність попередньо вибраного двигуна менша або більша від потрібної. У цьому випадку з каталога слід вибрати інший двигун - з більшою або меншою номінальною потужністю і розрахунки повторити. Потрібну за умовами нагрівання номінальну потужність електродвигуна вибирають методом послідовного наближення.

У двигунах з самовентиляцією тепловіддача в оточуюче середовище залежить від частоти їх обертання. Тому при перевірці попередньо вибраного двигуна за умовами нагрівання середні втрати й еквівалентні величини треба визначати з урахуванням змін тепловіддачі під час зупинок, пусків і гальмувань. Для цього тривалість зупинок множать на коефіцієнт β_0, а тривалості пусків і гальмувань - на коефіцієнт $\beta_n = \frac{1+\beta_0}{2}$. Для закритих обдувних асинхронних двигунів беруть $\beta_0 = 0{,}30...0{,}55$.

Найточнішим з розглянутих вище методів вибору номінальної потужності двигуна є метод середніх втрат, проте практичне використання його обмежується громіздкістю розрахунків. Менш точним, але значно простішим є метод еквівалентного струму. Менша точність цього методу зумовлена тим, що при виведенні його розрахункових рівнянь (3.17)...(3.19) опір головних кіл та втрати потужності в сталі і на тертя у двигуні прийняті постійними.

Фактично ж вони змінні. Найбільша ці параметри змінюються у двигунів з перемиканням головних кіл і асинхронних двигунів з глибоким пазом або обмоткою ротора, виконаною у вигляді подвійної білячої клітки. Тому номінальну потужність таких двигунів, призначених для роботи з частими пусками і гальмуваннями, вибирати за методом еквівалентного струму не можна.

Ще менш точним є метод еквівалентного моменту, бо при виведенні його розрахункових рівнянь (3.20)...(3.22) крім опорів головних кіл і втрат потужності в сталі та на тертя у двигуні незмінним прийнято ще й магнітний потік двигуна, що також не відповідає дійсності. Приблизно постійним можна вважати магнітний потік двигунів постійного струму незалежного і паралельного збуджень, а також асинхронних короткозамкнених двигунів при ковзаннях, менших від критичного. Тому методом еквівалентного моменту не можна користуватись у випадках, зазначених для методу еквівалентного струму, і, крім того, при виборі номінальних потужностей двигунів, магнітний потік яких змінюється в широких межах, наприклад, двигунів постійного струму послідовного збудження.

Найменшу точність має метод еквівалентної потужності, оскільки його розрахункові рівняння (3.21)...(3.23) крім припущень, прийнятих в обох попередніх методах, не враховують змін частоти обертання двигунів. Тому цей метод не можна застосовувати у випадках, указаних для методів еквівалентного струму і еквівалентного моменту, а також при виборі номінальної потужності двигунів, частота обертання яких у процесі роботи значно змінюється. До таких двигунів належать двигуни постійного струму послідовного збудження і асинхронні двигуни з фазними роторами при ввімкнених в коло ротора регулювальних резисторах.

7. Після вибору номінальної потужності двигуна за умовами нагрівання треба перевірити його за перевантажувальною здатністю і пусковим моментом. При цьому максимальне допустиме значення струму, моменту або потужності короткочасного перевантаження двигуна повинно бути не менше від максимального значення струму, моменту або потужності, визначених за відповідною навантажувальною діаграмою, тобто мусять виконуватись умови

$$I_{макс.доп.} \geq I_{макс.діаг}, \qquad (3.24)$$

$$M_{макс.доп.} \geq M_{макс.діаг}, \qquad (3.25)$$

або

$$P_{макс.доп.} \geq P_{макс.діаг}, \qquad (3.26)$$

Максимальні допустимі значення струму, моменту та потужності короткочасного перевантаження двигуна визначають за формулами:

$$I_{макс.доп.} \geq I_{ном}\lambda_i \,, \qquad (3.27)$$

$$M_{макс.доп.} \geq M_{ном}\lambda_м \,, \qquad (3.28)$$

$$P_{макс.доп.} \geq P_{ном}\lambda_p \,, \qquad (3.29)$$

де $I_{ном}$, $M_{ном}$ і $P_{ном}$ - номінальні значення струму, моменту і потужності; λ_i, $\lambda_м$ *і* λ_p - перевантажувальна здатність двигуна відповідно за струмом, моментом і потужністю.

Перевантажувальна здатність двигунів постійного струму обмежується умовами їх комутації. Для двигунів незалежного і паралельного збуджень наближено можна прийняти $\lambda_i = \lambda_м = \lambda_p = 2...2,5$, а двигунів послідовного і змішаного збуджень - $\lambda_i = 2...2,5$ і $\lambda_м = 2,5...3$.

Для асинхронних двигунів перевантажувальну здатність за моментом визначають з урахуванням можливого зниження напруги до 0,9 номінальної, користуючись формулою:

$$\lambda_м = 0,8\mu_{кр} \,, \qquad (3.30)$$

де $\mu_{кр} = \frac{M_{макс}}{M_{ном}}$ кратність максимального (критичного) моменту двигуна (приймається за даними каталогу); $M_{макс}$ - максимальний (критичний) момент, який може розвивати електродвигун.

Можна вважати, що перевантажувальні здатності за струмом і потужністю приблизно дорівнюють перевантажувальній здатності за моментом, тобто $\lambda_i = \lambda_м$ *і* $\lambda_p = \lambda_м$.

Перевірку можливості пуску двигуна, призначеного для привода даної машини, виконують за умовою (3.13). Якщо умова (3.24), (3.25) або (3.26) чи (3.13) не виконується, то треба за каталогом вибрати двигун, що має більшу номінальну потужність, і перевірити його за цими самими умовами.

7. Визначення потужності електродвигуна при короткочасному режимі роботи.

Для короткочасного режиму роботи, як правило, застосовують електродвигуни спеціального виконання, в яких підвищена перевантажувальна здатність, змінено співвідношення втрат потужності в міді і сталі тощо. В окремих випадках, коли таких двигунів немає, для короткочасного режиму роботи використовують електродвигуни, розраховані на тривалий режим роботи.

Вибір номінальної потужності двигуна спеціального виконання здійснюють у такій послідовності:

1. За навантажувальною діаграмою робочої машини $M_c = f(t)$ або $P_c = f(t)$ та каталожними даними електродвигунів, розрахованих на короткочасний режим

роботи, виходячи з умов $M_{ном}$=(1, 2...1, 3)*$M_{с.ср}$ або $P_{ном}$ = (1, 2...1, 3)$P_{с.ср}$ і $t_{р.ст} \geq t_{р.ф}$ (де $t_{р.ст}$ і $t_{р.ф}$ - стандартна і фактична тривалості короткочасної роботи) попередньо вибирають двигун і записують його технічні дані.

Попередньо вибрати двигун можна також на основі даних, відомих з практики проектування і експлуатації аналогічних електроприводів.

2. За навантажувальною діаграмою машини, враховуючи технічні дані попередньо вибраного двигуна і зведений до його вала момент інерції системи «електродвигун — робоча машина», розраховують перехідні процеси привода і будують навантажувальну діаграму двигуна *I=f(t) або M=f(t)* Будувати навантажувальну діаграму *P=f(t)* недоцільно, тому що короткочасний режим роботи включає в себе період пуску двигуна, при якому частота обертання змінюється. Внаслідок цього без відповідного коректування діаграма *P=f(t)* не характеризує з достатньою точністю нагрівання двигуна.

Навантажувальну діаграму *I=f(t)* або *M=f(t)* можна одержати також експериментальне, використавши попередньо вибраний двигун для привода даної машини і записавши діаграму за допомогою відповідного самописного приладу.

Діаграма *I=f(t)* або *M=f(t)* здебільшого має криволінійний характер, тому при дальших розрахунках її заміняють ступінчастою або ламаною лінією.

3. За спрощеною навантажувальною діаграмою *I=f(t) або M=f(t)*, користуючись формулами (3.17)...(3.18) або (3.19)... ...(3.22) визначають еквівалентний струм I_e або еквівалентний момент M_e.

4. У тому випадку, коли фактична тривалість короткочасної роботи $t_{р.ф}$ дорівнює або дуже близька до однієї з стандартних тривалостей $t_{р.ст}$, номінальний струм $I_{ном}$ або номінальний момент $M_{ном}$ попередньо вибраного двигуна порівнюють відповідно з еквівалентним струмом I_e або еквівалентним моментом M_e. Якщо при цьому виконується умова $I_{ном} \geq I_e$ або $M_{ном} \geq M_e$., то це означає, що номінальна потужність попередньо вибраного двигуна задовольняє вимоги його нагрівання. Тоді ж, коли $t_{р.ф}$ значно відрізняється від $t_{р.ст}$, спочатку визначають $I_{доп.трф,}$ найбільший допустимий струм, який може споживати попередньо вибраний двигун протягом часу $t_{р.ф}$, або найбільший допустимий момент $M_{доп.тр.ф}$, який він може розвивати протягом цього самого часу, не перегріваючись, а потім порівнюють $I_{доп.трф}$ з I_e або $M_{доп.тр.ф}$ з M_e. Якщо при цьому виконується умова $I_{доп.трф} \geq I_e$ або $M_{доп.тр.ф} \geq M_e$, то номінальна потужність попередньо вибраного двигуна задовольняє вимоги нагрівання.

$I_{доп.трф}$ і $M_{доп.тр.ф}$ визначають за формулами:

$$I_{доп.тр.ф} = I_{ном} \sqrt{(\alpha + 1)\frac{1 - e^{-tp.cm / Tн}}{1 - e^{-tp.ф / Tн}} - \alpha} \qquad (3.31)$$

і

$$M_{доп.тр.ф} = M_{ном} \sqrt{(\alpha + 1)\frac{1 - e^{-tp.cm / Tн}}{1 - e^{-tp.ф / Tн}} - \alpha} \qquad (3.32)$$

де α - відношення постійних втрат потужності у двигуні до змінних при номінальному навантаженні (коефіцієнт втрат); T_n - стала часу нагрівання

електродвигуна.

У тому випадку, коли умова $I_{ном} \geq I_{e,}$ $M_{ном} \geq M_e$, $I_{доп.трф} \geq I_e$ або $M_{доп.тр.ф.} \geq M_e$ не виконується, треба попередньо вибрати інший двигун більшої чи меншої номінальної потужності і, виконавши усі вказані вище розрахунки, перевірити його за цією самою умовою. Задача розв'язується методом послідовного наближення.

5. Після вибору номінальної потужності двигуна за умовами нагрівання перевіряють його за перевантажувальною здатністю і пусковим моментом, користуючись відповідно формулами (3.24) або (3.25) і (3.13). Якщо ці умови теж виконуються, то попередньо вибраний двигун можна застосувати для привода даної робочої машини. У противному разі номінальну потужність двигуна вибирають за його перевантажувальною здатністю і пусковим моментом.

Із серії двигунів, розрахованих на тривалий режим роботи, номінальну потужність двигуна, призначеного для короткочасного режиму роботи, вибирають так:

1. За навантажувальною діаграмою робочої машини $M_c=f(t)$ або $P_c=f(t)$ і каталожними даними електродвигунів, розрахованих на тривалий режим роботи, виходячи з умови $M_{макс.доп} \geq M_{с.макс}$ або $P_{макс.доп} \geq P_{с.макс}$ (де $M_{с.макс}$ і $P_{с.макс}$ - максимальні значення моменту і потужності за відповідними навантажувальними діаграмами робочої машини), попередньо вибирають двигун і записують його технічні дані.

Попередньо вибрати двигун можна також за даними, відомими з практики проектування і експлуатації аналогічних електроприводів.

2. За навантажувальною діаграмою машини, враховуючи технічні дані попередньо вибраного двигуна і зведений до його вала момент інерції системи «електродвигун - робоча машина», розраховують перехідні процеси привода і будують навантажувальну діаграму двигуна $I=f(t)$ або $M=f(t)$.

Навантажувальну діаграму двигуна можна одержати також експериментальне, як і в попередньому випадку.

3. За навантажувальною діаграмою двигуна $I=f(t)$ або $M=f(t)$ визначають еквівалентний струм I_e або еквівалентний момент M_e.

4. Визначають найбільший допустимий струм $I_{доп.трф}$, який може споживати попередньо вибраний двигун, або найбільший допустимий момент $M_{доп.тр.ф}$, який він може розвивати, не перегріваючись, протягом часу, що дорівнює фактичній тривалості короткочасної роботи $t_{р.ф}$:

$$I_{доп.тр.ф} = I_{ном} \sqrt{\frac{1+\alpha}{1-e^{-тр.ф/Tн}} - \alpha}, \qquad (3.33)$$

і

$$M_{доп.тр.ф} = M_{ном} \sqrt{\frac{1+\alpha}{1-e^{-тр.ф/Tн}} - \alpha}, \qquad (3.34)$$

5. Порівнюють одержані значення $I_{доп.трф}$ і I_e або $M_{доп.тр.ф}$ і M_e. Якщо при цьому виконується умова $I_{доп.трф} \geq I_e$ або $M_{доп.тр.ф} \geq M_e$ то номінальна потужність

попередньо вибраного двигуна задовольняє вимоги нагрівання. Якщо ця умова не виконується, то попередньо вибирають інший двигун більшої чи меншої номінальної потужності і розрахунки повторюють.

6. Вибраний за умовами нагрівання двигун, як і в попередньому випадку, перевіряють за перевантажувальною здатністю і пусковим моментом, користуючись формулами (3.24) або (3.25) і (3.13).

8. Визначення потужності електродвигуна при повторно-короткочасному режимі роботи.

Для повторно-короткочасного режиму роботи застосовують спеціальні електродвигуни, які порівняно з двигунами, розрахованими на тривалий режим роботи, мають менший момент інерції ротора, підвищений пусковий момент і більшу перевантажувальну здатність. Вибір номінальної потужності цих двигунів здійснюють у такій послідовності:

1. За навантажувальною діаграмою робочої машини $M_c=f(t)$ або $P_c=f(t)$ визначають середнє значення моменту статичних опорів $M_{c.cp}$ або статичної потужності $P_{c.cp}$ за робочий період (без урахування часу паузи) та необхідну фактичну відносну тривалість вмикання двигуна $ТВ_ф$.

2. З каталога електродвигунів, розрахованих на повторно-короткочасний режим роботи, виходячи з умов $M_{ном} = (1, 2...1,3)/M_{c.cp}$ або $P_{ном} = (1, 2...1, 3)P_{c.cp}$ і $ТВ_{ст} \geq ТВ_ф$ (де $ТВ_{ст}$ - найближча більша від фактичної стандартна відносна тривалість вмикання двигуна), попередньо вибирають двигун і записують його технічні дані.

Попередньо вибрати двигун можна також за даними проектування й експлуатації аналогічних електроприводів.

3. Користуючись навантажувальною діаграмою робочої машини $M_c=f(t)$ або $P_c=f(t)$, технічними даними попередньо вибраного двигуна і зведеним до його вала моментом інерції системи «електродвигун — робоча машина», розраховують перехідні процеси привода і будують навантажувальну діаграму електродвигуна $I=f(t)$ або $M=f(t)$. Будувати діаграму $P=f(t)$ недоцільно, тому що повторно-короткочасний режим роботи характеризується частими пусками і гальмуваннями двигуна, при яких частота обертання його ротора змінюється в широких межах. Внаслідок цього без відповідного коректування діаграма $P=f(t)$ не характеризує з достатньою точністю нагрівання двигуна.

Навантажувальну діаграму двигуна $I=f(t)$ або $M=f(t)$ можна одержати також експериментальне, як і при тривалому та короткочасному режимах роботи.

4. За навантажувальною діаграмою двигуна $I=f(t)$ або $M=f(t)$, користуючись відповідно формулами (3.17)...(3.8) або (3.20)...(3.21), визначають еквівалентний струм I_e або еквівалентний момент M_e за робочий період (без урахування часу паузи).

5. У тому випадку, коли фактична відносна тривалість вмикання двигуна $ТВ_ф$ дорівнює стандартній $ТВ_{ст}$, порівнюють номінальне значення струму $I_{ном}$ або моменту $M_{ном}$ відповідним еквівалентним значенням струму I_e або

моменту M_e. Якщо при цьому виконується умова $I_{ном} \geq I_e$ або $M_{ном} \geq M_e$, то це означає, що номінальна потужність попередньо вибраного двигуна задовольняє вимоги його нагрівання. В тому ж випадку, коли ці величини не дорівнюють одна одній, спочатку перераховують I_e або M_e з фактичної відносної тривалості вмикання $ТВ_ф$ на найближчу стандартну $ТВ_{ст}$ і одержують нове еквівалентне значення струму I_e або моменту M_e, а потім порівнюють $I_{ном}$ з I_e або $M_{ном}$ з M_e. Якщо при цьому виконується умова $I_{ном} \geq I'_e$ або $M_{ном} \geq M'_e$, то номінальна потужність попередньо вибраного двигуна задовольняє вимоги його нагрівання.

Перерахунок еквівалентних величин з фактичної на найближчу стандартну тривалість вмикання двигуна виконують за формулами:

$$I_e = I_t \sqrt{\frac{ТВ_ф}{\alpha(ТВ_{ст} - ТВ_ф) + ТВ_{ст}}}, \qquad (3.35)$$

і

$$M_e = M_t \sqrt{\frac{ТВ_ф}{\alpha(ТВ_{ст} - ТВ_ф) + ТВ_{ст}}}, \qquad (3.36)$$

Якщо значення $ТВ_ф$ і $ТВ_{ст}$ дуже близькі, то величиною ($ТВ_{ст.}$ - $ТВ_ф$) можна знехтувати. Тоді

$$I_e = I_e \sqrt{\frac{ПВ_ф}{ПВ_{ст}}}, \qquad (3.37)$$

і

$$M_e = M_e \sqrt{\frac{ПВ_ф}{ПВ_{ст}}}, \qquad (3.38)$$

У тому випадку, коли умова $I_{ном} \geq I_e$ або $M_{ном} \geq M'_e$ чи $I_{ном} \geq I'_e$ або $M_{ном} \geq M_e$ не виконується, треба попередньо вибрати інший двигун більшої чи меншої номінальної потужності і розрахунки повторити.

6. Після вибору номінальної потужності двигуна за умовами нагрівання перевіряють його за перевантажувальною здатністю і пусковим моментом, користуючись відповідно формулами (3.24) або (3.25) і (3.26).

9. Послідовність та етапи вибору електродвигуна.

Електродвигун вибирається в такій послідовності:

1. Вибирають рід струму та величину напруги з врахуванням електропостачання та безпечної експлуатації.
2. Визначають необхідний режим роботи електродвигуна. Вибирають електродвигун за потужністю та частотою обертання двигуна.
3. Вибирають кліматичне виконання та категорію розміщення.
4. Вибирають ступінь захисту від дії навколишнього середовища.
5. Вибирають електричну модифікацію електродвигуна.

6. Вибирають конструктивне виконання та спосіб монтажу електродвигуна.

1. 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. У сільськогосподарському виробництві електродвигуни вибирають на напругу 380/220 В. Крім того передбачено ще такі напруги трифазного змінного струму: 36 (42), 220 і 660 В. Із зниженням напруги значно підвищується безпека роботи й електроустановках. Зниженою трифазною напругою 220 В в основному від автономного джерела, живляться пересувні електроустановки та ручні електричні машини.

Напруги 36 і 42 В використовують для живлення струмоприймачів, розміщених у приміщеннях особливо небезпечних щодо ураження електричним струмом.

Підвищення напруги до 660 В зумовлене необхідністю зменшення площі поперечного перерізу проводів. У сільському господарстві її застосовують для живлення потужних двигунів заглибних насосів від трансформаторних підстанцій, розрахованих на живлення одного двигуна.

2. За режимом роботи (тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний) 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.

S1 – основне виконання;
S2 – АИР...Кр1
Кр2
S3 – АИРС

За потужністю електричний двигун вибирають виходячи з умови:

$$P_{ном.дв.} \geq P_{роз.},$$

де $P_{ном,дв,}$ - номінальна потужність двигуна за каталожними даними, кВт, $P_{роз}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт.

За частотою обертання електродвигуни діляться виходячи з формули:

$$n_c = \frac{60f}{p},$$

де f – частота стуму мережі, Гц, p – кількість пар полюсів.
$p = 1$, $n = 3000$ об/хв. – швидкісні двигуни,

$p = 2$, $n = 1500$ об/хв. – базові двигуни,
$p = 3$, $n = 1000$ об/хв
$p = 4$, $n = 750$ об/хв. - низькошвидкісні.
$p = 5$, $n = 600$ об/хв
$p = 6$, $n = 500$ об/хв

Швидкісні двигуни мають найменшу масу та габарити, високі значення к.к.д. та швидкості. Але мають най більший рівень шуму та вібрації, менше число включень в годину, підвищені вимоги до підшипників та змащування.

Базові двигуни мають середні показники по масі, габаритам, к.к.д та cosφ. Допускається найбільше число включень в годину, мають низький рівень шуму.

Низькошвидкісні двигуни застосовують для технологічних машин, щоб зменшити число передач. Ці двигуни мають низькі енергетичні показники, великі габарити і масу.

Для отримання більш низьких швидкостей застосовують мотор-редуктори. Це електропристрій який включає в себе електродвигун та редуктор виконані як єдине ціле.

3. Електрообладнання, яке виготовляє промисловість, використовують у різних кліматичних зонах відповідно до його виконання. В одній кліматичній зоні залежно від місця розміщення кліматичне виконання ділять на категорії. Кліматичне виконання і категорію розміщення у вигляді букви і цифри проставляють в кінці типу електротехнічних виробів. Визначено кліматичні райони, які характеризуються певними значеннями кліматичних факторів.

Категорії розміщення електрообладнання позначаються так:

1 - для встановлення на відкритому повітрі;

2 - для роботи в приміщеннях, де коливання температури і вологості повітря істотно не відрізняються від зовнішніх і є вільний доступ повітря (намети, металеві приміщення без теплоізоляції, кожухи комплектних пристроїв категорії 1, захищені від прямої дії сонячної радіації і атмосферних опадів);

3 - для закритих приміщень з природною вентиляцією без штучного регулювання мікроклімату,

4 - для приміщень з штучно регульованим мікрокліматом.

Характеристика кліматичних районів

Клімат	позначення	Температура повітря. ◦С	
		максимальна	мінімальна
Помірний	У	+40	-45
Помірний і холодній	УХЛ	+40	-60
Тропічний сухий і вологий	Т	+45	-10
Морський помірно холодний	М	+40	-40
Помірно холодний і тропічний морський клімат	ОМ	+45	-40

У сільському господарстві повинно використовуватись електрообладнання кліматичного виконання *У*, призначеного для районів з помірним кліматом.

Якщо електрообладнання позначене індексом *У4*, то це означає, що воно призначене для експлуатації в умовах помірного клімату і повинно бути встановлена в приміщенні з регульованим мікрокліматом.

4. Крім відповідного кліматичного виконаний і категорії розміщення, електрообладнання повинно мати необхідний ступінь захисту від впливу негативних факторів навколишнього середовища, а також захищати обслуговуючий персонал від дотику до струмоведучих і рухомих частин обладнання. Ступінь захисту електрообладнання позначено літерами латинського алфавіту *IP* та двома цифрами. Ці позначення проставляють на табличках з паспортними даними або на кожухах виробів.

Перша цифра після індексу вказує на ступінь захисту персоналу від дотику до струмоведучих і рухомих частин та захищеність обладнання від потрапляння твердих сторонніх предметів всередину оболонки:

0 - відсутній захист персоналу від випадкового дотику до струмоведучих та рухомих частин, що знаходяться під оболонкою, а також обладнання від потрапляння твердих сторонніх предметів;

1 - захист від випадкового дотику великої ділянки поверхні тіла людини до струмоведучих та рухомих частин, що знаходяться під оболонкою, та захист обладнання від потрапляння під оболонку сторонніх предметів діаметром не менше 52,5 мм;

2 - захист від випадкового дотику пальцями до струмоведучих та рухомих частин і захист обладнання від потрапляння твердих сторонніх предметів діаметром не менше 12,5 мм;

3 - захист від зіткнення інструменту, дроту або інших подібних предметів товщиною понад 2,5 мм з струмоведучими або рухомими частинами, що знаходяться під оболонкою, і захист обладнання від потрапляння під оболонку сторонніх предметів діаметром понад 2,5 мм;

4 - захист від зіткнення інструменту, дроту або інших подібних предметів товщиною понад 1 мм з струмоведучими частинами і захист обладнання від потрапляння під оболонку дрібних сторонніх предметів діаметром понад 1,1мм;

5 - повний захист персоналу від випадкового дотику до струмоведучих та рухомих частин, що знаходяться під оболонкою, і захист обладнання від потрапляння пилу;

6 - повний захист персоналу від випадкового дотику до струмоведучих та рухомих частин і повний захист обладнання від потрапляння пилу.

Друга цифра вказує на ступінь захисту електрообладнання від проникнення води всередину оболонки:

0 – захист відсутній;

1 - захист від крапель сконденсованої води. Краплі сконденсованої води, що падають вертикально на оболонку, не впливають шкідливо на обладнання яке знаходиться під оболонкою;

2 - захист від крапель води, що падають на оболонку під кутом 15° до вертикалі. Вертикально падаючі на оболонку краплі і під кутом 15° не повинні проникати всередину обладнання;

3 - захист від дощу. Вода, що падає на оболонку під кутом 60° до вертикалі, не повинна потрапляти всередину обладнання;

4 - захист від бризок. Бризки води, що падають під будь-яким кутом, не впливають шкідливо на обладнання, розміщене всередині оболонки;

5 - захист від струменів води. Вода, що витікає на оболонку з наконечника під тиском в будь-якому напрямку, не повинна потрапляти всередину обладнання;

6 - захист від водяних хвиль. При заливанні морською хвилею вода не повинна проникати під оболонку за умов, що зазначені в стандартах або технічних умовах на окремі види електрообладнання;

7 - захист при зануренні у воду на час, передбачений стандартами або технічними умовами на окремі види електрообладнання. Вода не повинна проникати під оболонку;

8 - захист від необмежене тривалого занурення у воду при тиску, що зазначений у стандарті або технічних умовах на окремі види електрообладнання. Вода не повинна проникати рід оболонку.

Електрообладнання, що експлуатується у сільському господарстві, переважно повинно мати такі ступені захисту: *IP23, IP30, IP31, IP41, IP44, IP51, IP54, IP55.*

Електродвигуни, що працюють у сухих і чистих приміщеннях, повинні мати виконання *IP00* або *IP20*. Ступінь захисту електродвигунів, встановлених, на відкритому повітрі, має бути не менше *IP44*. Таке виконання мають електродвигуни, які працюють у приміщеннях, де можливі осідання на їх обмотки пилу та інших речовин, що погіршують охолодження. У сирих і особливо сирих приміщеннях електродвигуни повинні мати виконання не менше *IP44* та ізоляцію, розраховану на дію вологи та пилу, а електродвигуни, встановлені в приміщеннях з хімічно активними парами або газами, - не менше *IP44* Допускається також застосування електродвигунів виконання *IP33*, але з стійкою проти дії хімічних речовин ізоляцією. Електродвигуни сільськогосподарського призначення мають ступінь захисту *IP55*.

5. За електричною модифікацією (з підвищеним пусковим моментом, з підвищеним ковзанням, багатошвидкісний, з фазним ротором, з вмонтованим електромагнітним гальмом, малошумний) асинхронний двигун вибирають залежно від моменту зрушення робочої машини, характеру навантаження двигуна і величини махових мас системи „електродвигун - машина", потреби в регулюванні швидкості та гальмуванні системи, вимог рівня шуму у виробничому приміщенні тощо. Двигуни з підвищеним пусковим моментом вибирають для привода машин з великими моментами зрушення (скребкові конвеєри для прибирання гною, поршневі насоси тощо); двигуни з підвищеним ковзанням - для привода машин з різко змінним (ударним) навантаженням (кормопреси, компресори і т. п.), 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 і обкатування автотракторних двигунів), а також машин, що мають особливо важкі умови пуску (сепаратори, центрифуги); двигуни з вмонтованим електромагнітним гальмом — для машин, які потребують фіксованої зупинки в регламентований час (підйомні машини, металообробні верстати); малошумні двигуни, призначені для роботи в приміщеннях, що потребують зниженого рівня шуму (жилі будинки, студії звукозапису тощо).

Основні модифікації електродвигунів серії АИ:

Асинхронні двигуни АИР сільськогосподарського виконання з температурним захистом виготовляються на напругу 220, 380, і 220/380 В з кількістю вивідних кінців 3 і 6. Ступінь захисту двигунів IP54. Ізоляція обмоток класу нагрівостійкості „F" з допустимим нагріванням обмотки статора по класу[1] нагрівостійкості „B" *з* перевищенням температури обмотки статора до 90 °С. Станина двигунів виготовлена з міцного корозієстійкого алюмінієвого сплаву, підшипникові вузли - із чавуну.

Асинхронні двигуни АИР...ЭБС - спеціалізованого виконання з влаштованим датчиком температури і прибудованим електронним блоком температурного захисту, який спільно з магнітним пускачем забезпечує захист двигуна від перевантажень. Електронний блок температурного захисту складений на печатній платі і кріпиться у клемовій коробці (ввідному пристрої) двигуна. Ступінь захисту двигунів IP54, ізоляція класу нагрівостійкості „F". Перевищення температури статорної обмотки над температурою навколишнього середовища допускається до 80 °С. Підшипники серії 180000 заповнені мастилом на весь їх строк служби. Режим роботи двигунів S1. Розраховані для роботи в мережі змінного струму напругою 380 В.

Асинхронні двигуни АИР...КР для короткочасного режиму виготовляються на напругу 220/ 380, 220, 380 і 660 В, частоту струму 50 Гц. Вони мають такі модифікації за кліматичним виконанням: У2, У3, У5, з влаштованим температурним захистом – БУ3, БУ2, БУ5, сільськогосподарське виконання з влаштованим температурним захистом – БСУ1. Двигуни сільськогосподарського виконання можуть експлуатуватись у приміщеннях з хімічно активними речовинами. Ступінь захисту IP54. Ізоляція класу нагрівостійкості „F". Строк служби до списання 15 років.

Двигуни створено на базі двигунів загального використання і тому тривалості допустимої роботи не збігаються із стандартними тривалостями двигунів режиму S2 (10, 30, 60, 90 хв). Якщо двигун короткочасного режиму має потужність на один ступінь вище порівняно з двигуном основного використання, то в позначенні типу вказується КР1, а якщо потужність більша на два ступеня - КР2. У двигунів з позначкою КР2 після позначення серії (АИР) літера «Б» вказує на відсутність вентилятора на двигуні для охолодження та оребріння. Двигуни мають тривалість роботи 3-5 хв і за цей проміжок часу їх зовнішня поверхня не встигає нагрітися. Двигуни

короткочасного режиму мають також виконання, призначене для тривалого режиму роботи (S1), а при перевантаженні (короткочасному режимі) ці двигуни мають у позначенні типу індекс КР3. Використовують їх при змінному навантаженні.

Асинхронні двигуни АИРП призначені для привода витяжних вентиляторів серії ВО, що входять до комплекту вентиляційного обладнання «Клімат». Номінальна напруга двигунів 380 В. Статорна обмотка має три виводи. Схема з'єднання обмотки - зірка з виведеною нульовою точкою, яка з'єднується з тиристорним регулятором напруги. Приєднання нульового провода до нульової точки статорної обмотки не допускається через можливе додаткове нагрівання двигуна. Номінальний режим роботи двигуна S1 (тривалий).

Асинхронні двигуни АИРС з підвищеним ковзанням використовують для привода механізмів загального призначення: працюють у мережі змінного струму напругою 380 В при частоті 50 Гц.

Запиленість повітря в зоні роботи двигунів - не більше 10 мг/м^3, навколишнє середовище не повинно мати струмопровідного пилу, парів речовин, які шкідливо впливають на ізоляцію. Номінальний режим роботи двигунів повторно-короткочасний (S3). Двигуни допускають, роботу у повторно-короткочасному режимі з частими пусками (режим S4) з тривалістю вмикання (ТВ) 15, 25, 40 і 60 %. Допускають також роботу в переміжному режимі (S6) з тривалістю навантаження 15, 25, 40 і 60 %. Номінальна потужність двигунів, зазначена на їх паспорті, віднесена до тривалості вмикання (ТВ, %) 40 %

Двигуни мають влаштований температурний захист. За замовленням можуть виготовлятись із підвищеною, точністю за установчими розмірами (П) і хімічностійкі (Х2). Кліматичні виконання двигунів: У2, У3, У5, Т2, УХЛ2.

Багатошвидкісні двигуни АИР призначені для ступінчастого регулювання частоти обертання робочих машин. Мають влаштований температурний захист. Передбачено виконання з підвищеною точністю за установчими розмірами (П), хімічностійке виконання (Х2). Кліматичне виконання та категорія розміщення двигунів такі: У2, У3, Т2, У5, УХЛ2. Ступінь захисту двигунів IP54. Номінальна напруга 220, 380 і 660 В. Клас нагрівостійкості ізоляції „F”. При експлуатації поповнювати мастило в підшипники не потрібно. Строк служби двигунів 10 років.

Асинхронні двигуни АИР80Ж...АИР100Ж призначені для привода моноблочних відцентрових насосів КМ. Розраховані для роботи у колах змінного струму напругою 380 В і частотою 50 Гц. Літера «Ж» у позначенні типу двигуна означає подовжений кінець вала для насажування консольного насоса. Так, для двигуна АИР1004Ж вільний кінець вала дорівнює 171 мм, а для двигуна АИР1004 - 40 мм. Існує виконання двигунів загального використання та хімічно стійке. Кліматичне виконання - У2, У3, Т2. Режим роботи-тривалий (S1). Ступінь захисту двигунів IP54. Ізоляція класу нагрівостійкості „F”. Двигуни допускають дію на кінець вала, що виступає, радіальних та осьових зусиль, а також начіплювання на вал деталей масою не

більше допустимої. Якщо насоси мають більшу масу за вищезазначену, то необхідно мати власну опору насоса, що розвантажує фланець двигуна.

Асинхронні двигуни АИР71Р3...АИР100Р3 для зубчастих редукторів виготовляються на напругу 220/380 і 660 В. Ізоляція класу нагрівостійкості „F”. Перевищення температури обмотки статора для двигунів загального та сільськогосподарського виконання становить 80 °С, а для багатошвидкісних -90 °С. Ступінь захисту двигунів IP54.

Захист двигуна від потрапляння масла із редуктора в двигун по лінії вала забезпечується спеціальною конструкцією підшипникового щита, а також встановленням манжети. Замінюють манжету через 4000 год роботи, але не рідше ніж через 3 роки зберігання або експлуатації. Двигуни для зубчатих редукторів мають такі кліматичні виконання та категорії розміщення: СУ1, СУ2, У2, У3. Т2.

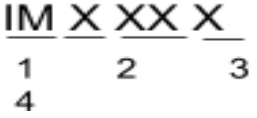
Асинхронні двигуни АИРР160, АИРР180, АИРР200,АИРР225 з підвищеним пусковим моментом призначені для роботи у режимах S1 - S6. Двигуни мають основне, хімічно стійке та пилонепроникне виконання, напруга 220/380 і 380/660 В. Кліматичне виконання двигунів основного виконання — У3, У2, Т2, ХЛ2, хімічно стійкого виконання — У3, У5, пилезахищеного - У3. Двигуни кліматичного виконання У3 мають ступінь захисту IP44, а У2, У5, ХЛ2, УПУ3, Х2 - IP54. Ізоляція класу нагрівостійкості „F”. Двигуни основного виконання і пиленепроникні за замовленням споживача виготовляються з влаштованим температурним захистом.

Асинхронні двигуни АИР з габаритами до 160 мм не мають виконання з підвищеним пусковим моментом, бо вони в основному виконанні мають пускові моменти більше 2Мн. Отже двигуни малої і середньої потужності основного виконання через певне співвідношення активного та індуктивного їх опорів можна відносити до двигунів з підвищеним пусковим моментом.

Однофазні асинхронні конденсаторні двигуни типорозмірів АИРЗТ80, АИРЗУТ80 призначені для комплектації електроприводів різних механізмів побутової техніки і засобів малої механізації в особистих підсобних господарствах для роботи від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц. У позначенні даних типів двигунів літери означають: схеми однофазного вмикання двигунів з трифазною обмоткою статора з робочим конденсатором (ЗТ) та робочим і пусковим конденсаторами (ЗУТ).

Двигуни з двофазною обмоткою і пусковим та робочим конденсаторами у позначенні типу мають літери „УТ”. Однофазні двигуни випускаються кліматичного виконання та категорії розміщення У2, У3 та Т2. Номінальний режим роботи S1.

Конструктивне виконання електричних двигунів розшифровується так:



1 - буквена частина позначення;

2 - спосіб монтажу;

3 - розміщення вала;

4 - виконання кінця вала.

Існує дев'ять груп електричних машин за способом монтажу:

IM1	На лапах з підшипниковими щитами;
IM2	На лапах з підшипниковими щитами і з фланцем на підшипниковому щиті;
IM3	Без лап із фланцем на підшипниковому щиті;
IM4	Без лап з підшипниковими щитами і фланцем на станині;
IM5	Без підшипників;
IMб	3 підшипниковими щитами і стояковим підшипником
IM7	3 стояковими підшипниками без підшипникових щитів
IM8	3 вертикальним валом, що не ввійшли в групи IM1- IM4
IM9	Спеціального виконання за способом монтажу

В межах кожної групи електродвигунів розміщення вала позначається двома цифрами :

01 - горизонтально;

02 - вертикально валом вверх;

03 - вертикально валом вниз;

08 - будь-яке.

Виконання кінця вала має таке умовне позначенні:

1 - один циліндричний; 2 - два циліндричних; 3 - один конічний;4 – два конічних.

10. Двигуни серії АИ.