

МЕТОДИ ВИБОРУ ПРИВІДНИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ, ЯКІ ПРАЦЮЮТЬ ПРИ ВИПАДКОВОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Ільчов І. П.¹, Хандола Ю. М.¹, Серета А. І.¹, Хандола О. Ю.¹, Федюшко Ю. М.²

¹Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,

²Таврійський державний агротехнологічний університет

В статті приведені методи вибору електричних двигунів для приводів машин і механізмів, які працюють з випадковим навантаженням.

Постановка проблеми. Визначення і обумовлення параметрів електроприводів машин, які працюють з випадковим навантаженням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В даний час питання економії електроенергії набули особливого значення в енергонасичених електроприводах, які працюють з випадковим навантаженням і складають близько 30 - 35% від загальної кількості електроприводів, використаних в сільськогосподарському виробництві. Виникнення пульсуючих струмів в цих електроприводах приводить до збільшення втрат енергії.

Привільний вибір двигунів дає можливість значно зменшити ці втрати.

В сільськогосподарському виробництві багато машин та механізмів мають випадкове навантаження. До них відносяться комбіновані дробарки, подрібнювачі кормів, соломорізки, дискові пилки, і. т. д.

Правильний вибір приводних двигунів для таких видів машин в багатьох випадках визначає ефективність виробничих машин і установок, їх техніко-економічні показники.

Використання двигунів завищеної потужності приводить до збільшення динамічних навантажень, збільшення капітальних затрат, зниження ККД, а для приводів змінного струму – до зменшення коефіцієнта потужності.

Застосування двигунів заниженої потужності приводить до зменшення продуктивності машини, виникнення аварій, швидшому виходу двигунів із строю через перегрів та пробій ізоляції.

Потужність двигуна вибирають, виходячи із необхідності її повного використання і забезпечення виконання заданої роботи електропривода, при виконанні вимог до теплового режиму і допустимого механічного перевантаження.

Оптимальний вибір потужності приводних двигунів визначається їх навантажувальними діаграмами, які характеризують зміну потужності електродвигуна від часу роботи електропривода.

В теорії електропривода розроблено ряд методів, які дають можливість вибирати двигун по потужності і проводити його перевірку по тепловому режиму при змінному навантаженні.

Найбільшого поширення в інженерній практиці отримав Метод середніх втрат і еквівалентних величин.

Суть метода середніх втрат заключається в знаходженні середнього значення потужності втрат елект-

родвигуна за повний цикл режиму його роботи зі змінним навантаженням і порівняння найдених таким чином з номінальними втратами, на які розрахований електродвигун при тривалому режимі роботи. Якщо середнє значення потужності втрат за робочий період не перевищує потужності втрат при номінальному навантаженні і швидкості, то електродвигун не буде нагріватися вище допустимої температури.

Метод середніх втрат являється універсальним і найбільш точним, але він не враховує максимальної температури при змінному навантаженні і не дозволяє вибрати електродвигун по навантажувальній діаграмі, так як для розрахунку потужності втрат, відповідній заданому значенню потужності навантаження, необхідно заздалегідь знайти параметри електродвигуна.

В зв'язку з цим на практиці більше всього використовують хоч і менш точні, але більш прості методи середньоквадратичних чи еквівалентних величин, які дозволяють вибирати потужність електродвигуна по навантажувальній діаграмі.

В ході попереднього вибору двигуна проводиться розрахунок приведених до валу двигуна статичних навантажень і будується навантажувальна діаграма $M_{an} = f(t)$, по якій визначається еквівалентний (середньоквадратичний) момент:

$$M_{ane} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T M_{an}^2 dt}, \quad (1)$$

де T – тривалість циклу.

При ступінчатому проміжковому графіку формулу (1) можна замінити:

$$M_{ane} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i \right)}{\sum_{i=1}^n t_i}}, \quad (2)$$

де M_i і T_i – момент і час для i -того елемента навантажувальної діаграми.

Після цього попередня величина потужності вибирається по формулі

$$P = K_0 \cdot M_{ane} \cdot W_{ном} \quad (3)$$

де $K_0 = 1,1 \dots 1,4$ – коефіцієнт, який враховує ди-

намічні навантаження

$W_{ном}$ – номінальна частота обертання, приведена до валу двигуна.

Розбивши навантажувальну діаграму на ділянки, в результаті чого одержимо ряд прямокутників, трапецій, трикутників.

Розбивка виконується таким чином, щоб площа,

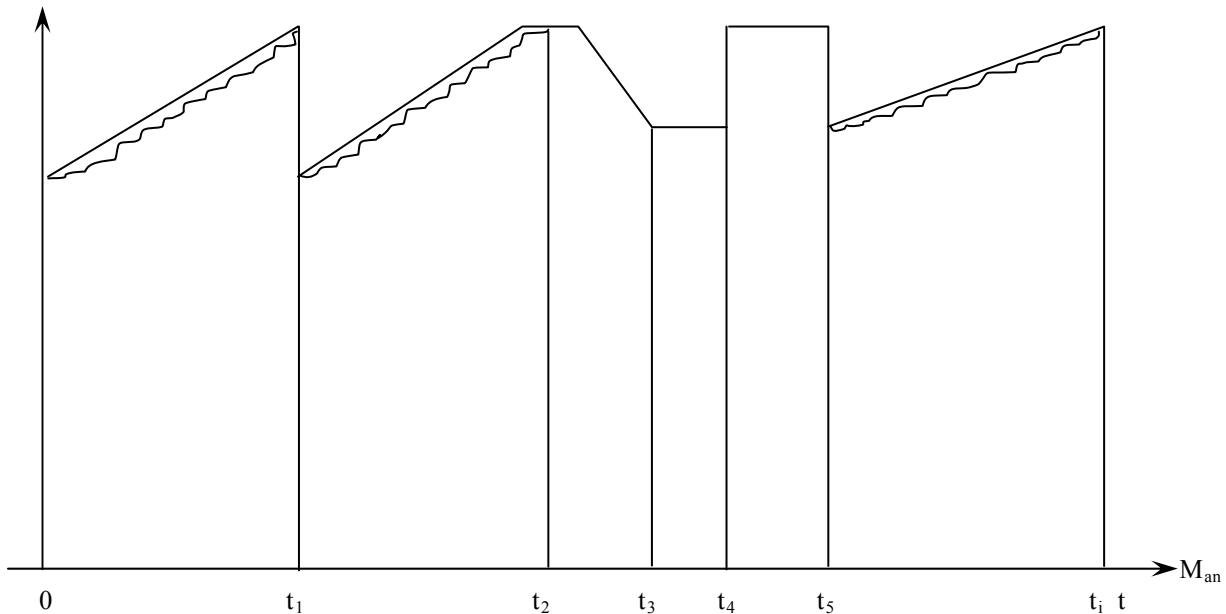


Рисунок 1 - Діаграма машини з випадковим навантаженням

Для повторно - короткочасного режиму $M_{анс}$ вираховується з урахуванням дійсної тривалості включення ТВ. Потім проводиться перерахунок потужності по формулі:

$$P_n \leq P \sqrt{\frac{TB}{TB_n}}, \quad (4)$$

де TB - відносна тривалість включення, TB_n - її номінальне значення.

По вирахуваній таким чином потужності попередньо вибирається двигун по каталогу, виходячи з умови:

$$P_n \geq P_{ек}. \quad (5)$$

В більшості випадків остаточний вибір потужності двигуна проводиться по нагріву з послідуною перевіркою по перевантажувальній спроможності.

При виборі двигуна по нагріву необхідно побудувати навантажувальну діаграму, в якій враховано перехідні процеси.

При цьому необхідно поставити умову, що тепловіддача на протязі циклу роботи залишається сталою. Це справедливо лише для електродвигунів з незалежною вентиляцією чи для двигунів з самовентиляцією при їх роботі зі сталою частотою обертання.

Якщо в процесі роботи умови тепловіддачі змі-

обмежена реальною діаграмою, дорівнювала площі еквівалентної діаграми $S_p = S_e$.

Після цього, одержавши ряд прямокутників, трапецій, трикутників, визначається для кожного відрізка навантажувальної діаграми еквівалентне значення моменту. Момент опору можна представити у вигляді діаграми:

нюються для різних відрізків навантажувальної діаграми, то при перевірці двигуна методом середніх втрат і еквівалентних величин, необхідно виконувати умову:

$$\theta_{к.ц.} \leq \theta_{доп}, \quad (6)$$

де $\theta_{к.ц.}$ - перевищення температури двигуна в кінці циклу.

$\theta_{доп}$ - допустиме переміщення температури двигуна.

Переміщення температури $\theta_{ку}$ визначається таким чином:

$$\theta_{ку} = \frac{\Delta P_{cp}}{A} \quad (7)$$

де A - тепловіддача двигуна;

ΔP_{cp} - середні втрати.

При використанні метода середніх витрат разом з навантажувальною діаграмою базується графік втрат які визначають для кожного навантаження відповідно кривої ККД двигуна.

По графіку втрат визначаються середні втрати.

$$\Delta P_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T \Delta P(t) dt \quad (8)$$

Для ступінчатого прямокутного графіка втрат середні витрати визначаються більш спрощеною формулою:

$$\Delta P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i t_i)}{\sum_{i=1}^n t_i} \quad (9)$$

де ΔP_i і t_i - ордината і тривалість кожного і-го прямокутного моменту графіка втрат.

Якщо крива ККД невідома, то значення ККД для кожного коефіцієнта завантаження

$$K_3 = \frac{P}{P_H P_n} \quad (10)$$

можемо підрахувати за формулою:

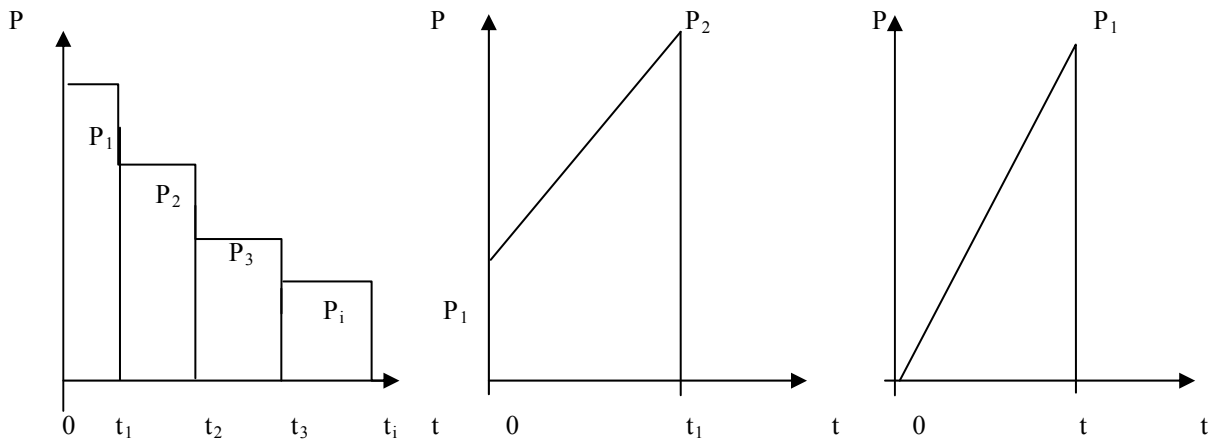


Рисунок 2 – Діаграми навантаження прямокутної, трапецієподібної і трикутної форми

При значному відхиленні цієї температури, значення ΔP_{cp} визначається таким чином:

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_n \frac{\theta_{дон} - \theta_{охл}}{\theta_{дон} - 40^\circ C}, \quad (13)$$

де $\theta_{дон}$ - допустиме перевищення температури двигуна.

На практиці застосовується хоч і менш точний, але більш зручний метод еквівалентних величин. Суть метода заключається в тому, що за допомогою виразів (3; 6; 12), приблизно, визначається потужність і вибирається конкретний двигун.

Використовуючи характеристики вибраного двигуна (номінальні дані, опір обмоток, механічні характеристики, маховий момент, передаточні числа), розраховують перехідний процес та будується діаграма електропривода, $M = f(t)$ чи $P = f(t)$.

Після цього враховують значення еквівалентних величин:

$$\eta = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_n} - 1 \right) \left(\frac{K_3 + \alpha / K_3}{1 + \alpha} \right)}, \quad (11)$$

де η - ККД при номінальному навантаженні;
 α - коефіцієнт сталих втрат, $\alpha = 0,5 \dots 0,1$.

Після визначення середніх втрат і їх порівнянням з номінальними втратами, вибираємо двигун, порівнюючи виконання умови

$$\Delta P_{cp} \leq \Delta P_n \quad (12)$$

Ця умова справедлива при $\theta_{охл} = 40^\circ C$.

$$I_{ек} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2 dt} \quad (14)$$

$$M_{ек} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T M^2 dt} \quad (15)$$

$$P_{ек} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt} \quad (16)$$

І зрівнюється з номінальними значеннями для вибраного двигуна, щоб виконувалися умови:

$$I_n \geq I_{ек}; M_n \geq M_{ек}; P_n \geq P_{ек} \quad (17)$$

Ці умови необхідно розуміти в тому сенсі, що вибраний двигун являється ближчим зверху представником стандартного ряду двигунів, не тим, який має номінальні дані вище еквівалентних.

Якщо ці умови задовільні, то на цьому вибір двигуна закінчується. В іншому випадку вибір необхідно повторити і вибрати двигун методом послідовних приближень.

При використанні метода еквівалентного струму приймається, що активний опір двигуна і його сталі втрати незмінні, і вони зовсім не ураховуються. В зв'язку з цим, методом еквівалентного струму не можливо користуватися, коли втрати на тертя і втрати в сталі не являються сталими, як не має місця при значних коливаннях напруги, частоти струму і швидкості руху.

Зміна активного опору, який також дає значні похибки при використанні метода еквівалентного моменту, має місце, наприклад, при перемиканні головних кіл двигуна, при його нагріванні, а також при частих пусках і гальмуваннях, внаслідок поверхневого ефекту витіснення струму, особливо у двигунів з глибоким пазом.

Значні переходи швидкості двигуна з само вентиляцією, пуски, гальмування, паузи можуть впливати на нагрів двигуна.

В зв'язку з цим при значній зміні частоти обертання в двигунах з само вентиляцією метод еквівалентного струму дає похибки.

$$\alpha = A_1 / A, \quad (18)$$

$$\beta = A_2 / A,$$

Тоді формула еквівалентного струму приймає вигляд:

$$I_{\text{ек}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{\alpha(t_{\text{nc}}) + t_{\text{не}} + \beta(t_1 + t_0)}}, \quad (19)$$

де t_{nc} ; $t_{\text{не}}$; t_0 - час роботи на понижений, номінальній швидкостях і час паузи.

Метод еквівалентного моменту являється більш зручним ніж метод еквівалентного струму, так як використовується менш складну розрахунку і побудови навантажувальної діаграми моментів. Використання твердження, що струм пропорційний моменту не завжди вірне (при частих пусках і гальмування).

Метод еквівалентної потужності дає додаткову неточність за рахунок несталості частоти одержання, особливо в пускових та гальмівних режимах.

При всіх перерахованих випадках, де великі погрішності розрахунку, методом еквівалентних величин, рекомендується користуватися методом середніх втрат. Всі розглянуті методи вибору потужності двигуна застосовується для тривалого режиму.

При короткочасному режимі умови вибору такі самі, але цей двигун часто є не завантажений по нагріву, так як майже всі межі використання обмеженні перевантажувальною спроможністю.

Крім цього, в короткочасному режимі, суттєвим є

нерівномірність нагрівання різних частин двигуна. В зв'язку з цим для короткочасного режиму роботи рекомендується вибирати не двигуни загальної серії, а спеціальні двигуни, розраховані на 15; 30; 60 хвилин роботи. З тривалістю включення 15; 25; 40; 60%, які мають підвищений пусковий і максимальний моменти.

Висновки. Розроблена методика вибору приводних електродвигунів для машин та механізмів, які працюють з випадковим навантаженням і їх вплив на енергетичні показники.

Список використаних джерел

1. Хандола Ю. М. Курс лекцій з електроприводу сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / Ю. М. Хандола – Харків: Факт, 2008. – 582 с.
2. Гаврилюк І. А. Навантажувальні діаграми машин зі змінним навантаженням / І. А. Гаврилюк, І. П. Ільчов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства: Питання електрифікації с/г. – Харків: ХДТУСГ, 2000. Вип.3. – С 93-97.
3. Гайдукевич В. И. Случайные нагрузки силовых электроприводов / В. И. Гайдукевич, В. С. Титов – М.: Наука, 1983. – 161 с.

Аннотация

МЕТОДЫ ВЫБОРА ПРИВОДНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, КОТОРЫЕ РАБОТАЮТ СО СЛУЧАЙНЫМИ НАГРУЗКАМИ

Хандола Ю. Н., Ильичёв И. П.,
Середа А.И., Хандола О. Ю., Федюшко Ю. М.

В статье приведены методы выбора электрических двигателей для машин и механизмов, которые работают со случайными нагрузками и их влияние на энергетические показатели.

Abstract

METHODS OF CHOICE OF ELECTRIC MOTORS OF DRIVES FOR MACHINES AND MECHANISMS WHICH WORK WITH CASUAL LOADINGS

Yu. Handola, I. Illichov,
A. Sereda, O. Handola, Yu. Fediushko

In the article the methods of choice of electric engines are resulted for machines and mechanisms which work with the casual loadings and their influence on power indexes.