

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИБОРУ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

Хандола Ю. М., Лисиченко М. Л., Серeda А. І., Назаренко О. Ю.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Проведені дослідження для виявлення оптимального коефіцієнта завантаження асинхронних двигунів електроприводів змішувачів кормів. Запропоновані рекомендації для збільшення терміну служби електродвигунів, що вже виробили свій ресурс, за рахунок їх оптимального завантаження.

Постановка проблеми. Тривалий час вдосконалення асинхронних двигунів дозволяло помітно покращувати масо-габаритні параметри і показники надійності. Однак ізоляція обмоток електродвигунів і досі залишається слабкою ланкою в їх структурній схемі надійності. Це враховується в теорії електроприводу при виборі потужності двигуна шляхом дотримання енергетичного балансу двигуна та робочої машини й перевірки температури нагріву ізоляції.

Питання про запас потужності традиційно вирішується як завдання по оптимальному завантаженню двигуна. З літературних джерел отримали вирази оптимального завантаження за критерієм мінімуму втрат енергії та максимуму надійності [1]. Ці дані істотно підвищують ефективність вибору потужності двигуна при проектуванні електроприладів, але в цих інтервалах в явному вигляді не враховується одна з головних характеристик електропривода – важливість робочої машини за розміром технологічного збитку при відмові електропривода, а також інтенсивність аварійних ситуацій.

Разом з тим з практики відомо, що підтримати експлуатаційні властивості зношених електроустановок можна за рахунок зниження навантажень, що діють на них: електричних, механічних, теплових та ін [2]. Однак, лишається не вирішеним завдання, як саме і в яких розмірах (межах), слід знижувати навантаження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процес змішування кормових матеріалів через специфічні особливості компонентів є складним і маловивченим. Пропоновані режими змішування кормів в основному базуються на експериментальних даних, одержаних на конкретних змішувальних установках у певних умовах [8].

У більшості випадків змішувачі, особливо порційні, запускаються під навантаженням. Таким чином, вигляд механічної характеристики змішувачів при їх нормальному запуску залежить від організації технологічного процесу машини.

Проте при розрахунку електроприводів змішувачів кормів слід передбачати і зупинку робочих органів машини з повністю заповненою місткістю, наприклад, при спрацюванні апарата захисту або раптового зниженню напруги живлення. При цьому в разі повторного запуску момент зрушення мішалок перевищує момент статичних опорів при номінальній частоті обертання [4]. Конкретні залежності визначаються аналітично або експериментально на конкретних машинах при певних видах кормосумішей [7].

Режим роботи електроприводів змішувачів неперервної дії тривалий із змінним навантаженням. Величина навантаження залежить від величини подачі компонентів у змішувач та їх якісних характеристик (вологості, крупності, однорідності тощо). Для вирівнювання навантаження використовують регулятори, що змінюють подачу продукту у функції струму двигуна [5].

Мета статті. Удосконалення методики вибору електродвигунів для електроприводів змішувачів кормів, у випадку заміни їх двигунами з терміном служби більшим нормативного.

Основні матеріали дослідження. Розглянемо електропривод, у якого асинхронний двигун (АД) має термін служби більше нормативного, тобто більше 10 років. Визначимо економічно виправдане зниження його навантаження.

Універсальним показником експлуатаційних властивостей АД служать питомі експлуатаційні витрати, які визначаються відношенням річних витрат до річного корисного споживання електроенергії. Після 7-9 років служби питомі витрати збільшуються в 1,5-2,0 рази.

Одним із способів поліпшення експлуатаційних показників зношених АД служить зниження навантаження двигуна, це призводить до зниження втрат енергії та інтенсивності відмов.

Щоб визначити, до якого рівня треба знизити навантаження необхідно вирішити нерівність:

$$Z_2 \leq Z_1, \quad (1)$$

де Z_1, Z_2 – вихідні питомі витрати.

Складання рівнянь витрат вимагає врахування багатьох невизначених факторів: вартість капітального ремонту, розмір технологічного збитку і т.д. Тому розглянемо окремі випадки, що дозволяють визначити граничне значення нового навантаження АД.

Представимо рівняння питомих витрат на втрати енергії і капітальний ремонт для зношеного АД з номінальним завантаженням Z_1 і того ж двигуна зі зменшеним завантаженням Z_2 .

$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= \frac{(\Delta P_x + \Delta P_k) \eta T}{P_n T} + \frac{C_p \lambda}{P_n T} \\ Z_2 &= \frac{(\Delta P_x + \Delta P_k \beta^2) \eta T}{P_n T \beta} + \frac{C_p \lambda \beta^w}{P_n T} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де $\Delta P_x, \Delta P_K$ – втрати електроенергії холостого ходу і на коротке замикання;
 μ – вартість електроенергії;
 P_H – номінальна потужність АД;
 T – річний час роботи електродвигуна;
 C_p – вартість одного капітального ремонту АД;
 λ – інтенсивність відмов ЕД;
 β – коефіцієнт завантаження ЕД;
 w – коефіцієнт чутливості.

Після підстановки (1) в (2) отримуємо:

$$(\Delta P_x^* \beta^{-1} + \Delta P_K \beta) \mu + C_p^* \lambda \beta^{w-1} \leq (\Delta P_x^* + \Delta P_K^*) \mu + C_p^* \lambda, \quad (3)$$

де: $\Delta P_x^* = \frac{\Delta P_x}{\Delta P_H}$ – втрати холостого ходу;

$\Delta P_K^* = \frac{\Delta P_K}{P_H}$ – втрати короткого замикання;

$C_p^* = \frac{C_p}{P_H T}$ – вартість капітального ремонту;

$\Delta P^* = P \chi^* + P_K^*$ – сумарні втрати короткого замикання і холостого ходу.

Перетворюючи це рівняння щодо шуканого параметра β отримуємо:

$$\beta^w + \beta^2 K_k \cdot \mu - \beta(1 + K \cdot \mu) + K_x \cdot \mu, \quad (4)$$

де: $K_x = \frac{\Delta P_x^2}{C_p^* \lambda}$; $K_k = \frac{\Delta P_K^*}{C_p^* \lambda}$; $K = \frac{\Delta P^*}{C_p^* \lambda}$.

Раніше встановлений коефіцієнт чутливості $w = 2$ для двигунів серії АІР; $w = 4$ для двигунів серії 4АМ.

Тому для основних двигунів, що застосовуються у виробництві сільгосппродукції – АІР ($w = 2$) остаточно отримуємо формулу ступеня завантаження, виведену за критерієм питомих витрат у вигляді:

$$\beta^2 - \beta \delta + q \leq 0, \quad (5)$$

де $\delta = \frac{1 + K \cdot \mu}{1 + K_k \cdot \mu}$; $q = \frac{K_x \cdot \mu}{C_p^* \cdot \mu}$.

Прирівнюючи до нуля дане рівняння, отримуємо стандартне квадратне рівняння, рішенням якого буде:

$$\beta_{1,2} = \frac{\delta}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 - q}. \quad (6)$$

Визначимо очікуване зниження навантаження АД. Підставимо в рівняння значення інтенсивності відмов у межах 0,1...0,4; питомої вартості ремонту 0,5...2,0.

При вирішенні рівняння (6) виходять числові значення в залежності від знака перед коренем, але за умовами поставленого завдання зниження завантаження АД вирішенням цього рівняння можуть бути

тільки значення менше одиниці, а саме отримані при знаку мінус перед коренем.

Аналізуючи отримані дані видно, що дійсно доцільно знижувати навантаження на АД в розглянутих випадках. Наприклад, підставимо у вихідні рівняння значення $Z_p^* = 1$ і зниження навантаження з 1 до 0,3.

Отримаємо наступні значення питомих витрат: $Z_1 = 0,58$, $Z_2 = 0,47$, тобто, зниження питомих витрат становить 19 %.

Таким чином, зниження завантаження забезпечує покращення експлуатаційних властивостей зношеного асинхронного двигуна.

З енергетичного аналізу випливає, що збільшення запасу потужності скорочує тривалість розгону електроприводу. Однак ця залежність має суттєво нелінійний характер і не можна очікувати пропорційного скорочення часу розгону.

З основного рівняння динаміки надлишковий момент АД в загальному випадку має вигляд:

$$m_H = -T_j \frac{ds}{dt}, \quad (7)$$

де $T_j = \frac{GD_{прив}^2 n_0^2}{364 P_H}$, – постійна часу агрегату;

s – ковзання.

Звідси знаходимо час розгону:

$$t = -T_j \int_{1,0}^{s_y} \frac{ds}{m_3}, \quad (8)$$

де S_y – усталене ковзання.

Для характеристики розрахунків використовують формулу:

$$t_n = \frac{T_j}{m_B} \left[\frac{bc}{\sqrt{b^2 c^{-1}}} \left(S_\phi \ln \frac{S_\phi - S_y - 0,01}{S_a - 1} + S_y \ln 100(1 - S_e) \right) \right], \quad (9)$$

де $m_B = \frac{M_H}{M_C}$ – відносний момент опору;

$bc = \frac{b}{m_c}$;

$S_\phi = \frac{S_k}{bc + \sqrt{b^2 c^{-1}}}$;

S_k – критичне ковзання.

Дослідження (9) в діапазоні $\beta = 0,5-1,0$, дозволило спростити це рівняння і привести його до виду:

$$t_n = T_j A \beta^2,$$

де A – величина, що залежить від типу АД.

В якості експериментальної перевірки теоретичних досліджень прийнято рішення про проведення експериментів на базі "лабораторії електроприводу" кафедри "Автоматизованих електромеханічних сис-

тем". Експерименти проводились на лабораторному стенді "Дослідження енергетичних показників електроприводів сільськогосподарських машин".

На стенді передбачена робота асинхронного двигуна через індукційний регулятор напруги. Навантаження для двигуна створюють електричні гальма, які працюють на постійному струмі через регулювальний реостат.

В програму експериментальних досліджень входило вивчення впливу запасу потужності на динаміку розгону та нагріву від завантаження при зниженій напрузі. Дослід проводився для виявлення оптимальної завантаженості двигуна при пуску з зниженою напругою. Дослід проводився при пониженій напрузі живлення АД рівній 360 В, як такої що найбільш часто зустрічається в мережах сільської місцевості. Дослід проводився при постійній температурі навколишнього середовища в 15 °С. Значення $\Delta\tau$ °С визначається як різниця температури двигуна і навколишнього середовища. Час проведення кожного досліді 20 с. Результати досліджень приведені на рисунках 1, 2, 3, 4 та зведені в табл. 1.

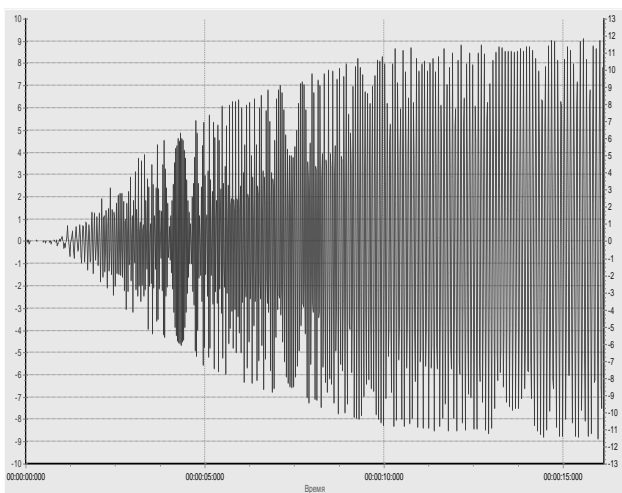


Рисунок 1 – Осцилограма пуску двигуна при напрузі 360 В та навантаженні 0,4 $M_{ном}$

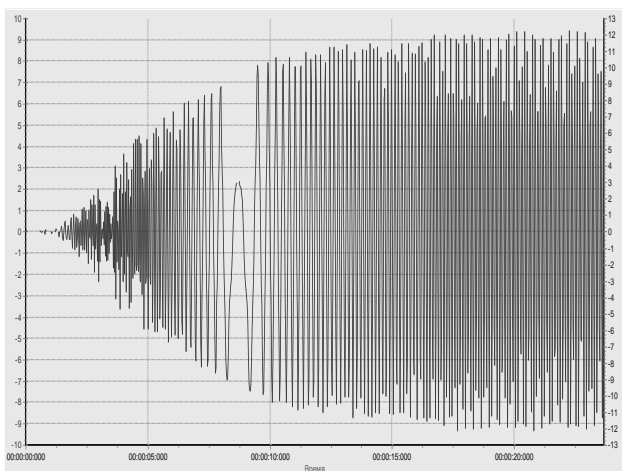


Рисунок 2 – Осцилограма пуску двигуна при напрузі 360 В та навантаженні 0,6 $M_{ном}$

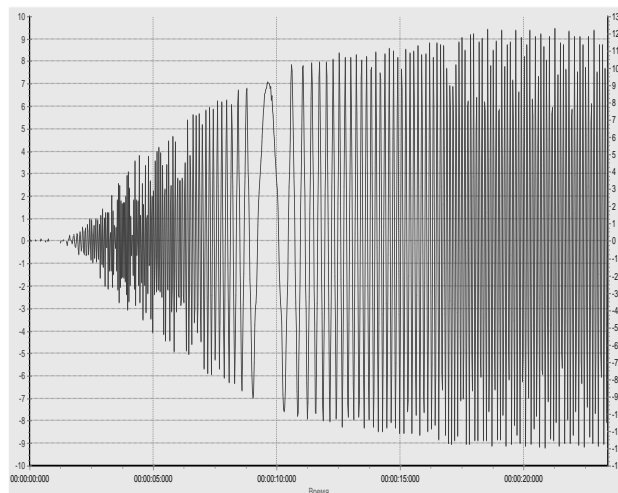


Рисунок 3 – Осцилограма пуску двигуна при напрузі 360 В та навантаженні 0,8 $M_{ном}$

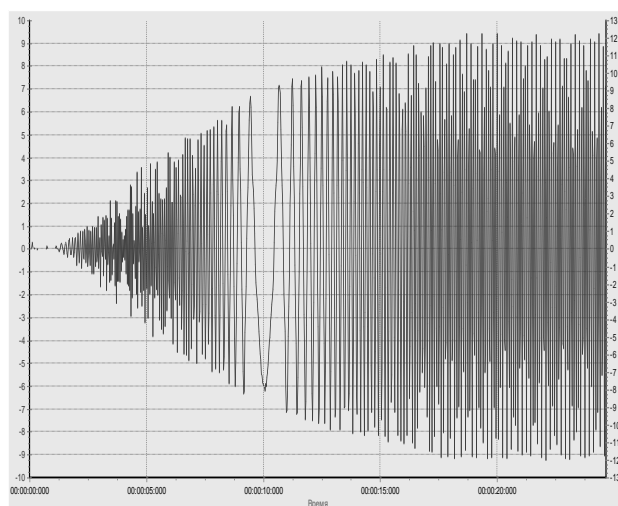


Рисунок 4 – Осцилограма пуску двигуна при напрузі 360 В та навантаженні $M_{ном}$

Таблиця 1 – Результати досліджень пуску АД при пониженій напрузі та різному навантаженні

№	$M_{нав.}^*$	I	V	n	$\Delta\tau$	$t_{розгону}$
	в.о.	А	В	об/хв	°С	с
1	0,4	3,7	360	1460	-	5,1
2	0,6	4,8	360	1440	-	6,2
3	0,8	6,0	360	1420	2	7,9
4	1	6,7	360	1400	8	9,2

Для більш точного порівняння динаміки розгону на рисунку 5 будемо графік залежності часу розгону від завантаження двигуна $t_{роз} = f(M_{нав.}^*)$.

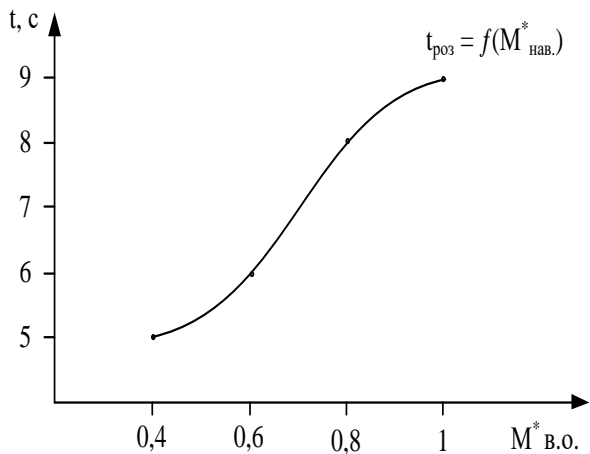


Рисунок 5 – Графік залежності часу розгону від навантаження двигуна при пониженому напрузі живлення

Як бачимо з графіку значне збільшення часу пуску спостерігається при навантаженні на валу двигуна – від 0,75 до 1,0. Крім того, якщо розглянути робочі струми при цих навантаженнях, то вони стають нижче номінальних тільки при навантаженні 0,9 від номінального. Також під час пуску, при номінальному навантаженні на валу двигуна, спостерігалось збільшення температури на 8 °С, але при зниженні навантаження менше 0,8 від номінального температура зменшується практично до нульового значення. Це пояснюється зношеністю деталей і вузлів ЕД, та застосуванням застарілих матеріалів при його виготовленні. Дослідження наукової літератури [6] показали, що таке збільшення температури під час пуску, призведе до перевищення допустимої температури двигуна при тривалому режимі роботи, і як наслідок до порушення цілісності ізоляції.

Висновки. Аналізуючи осцилограми на рисунках 1, 2, 3, 4, дані табл. 1 і графіка на рисунку 5 можна зробити висновок, що при заміні АД, який вийшов з ладу, двигуном який відпрацював більше 15 років, необхідно враховувати додатковий запас потужності. Для асинхронного електродвигуна 4А90Л4У3 рекомендовані коефіцієнти запасу потужності 1,3.

Проведений аналіз експериментальних та розрахункових даних показав, що запас потужності дозволяє скоротити в середньому на 8 % тривалість розгону, при зниженні напруги живлення на 7 %, відповідно зменшити негативний вплив (перегрів обмоток статора, збільшений час дії пускового струму) в середньому на 10 % на зношений АД.

Список використаних джерел

1. Пястолов А. А. Эксплуатация электрооборудования / А.А. Пястолов, Г.П. Ерошенко – М.: ВО "Агропромиздат", 1990. – 287 с.
2. Ерошенко Г.П. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных предприятий / Г. П. Ерошенко, М. А. Таранов, Ю. А. Медведко – Ростов-на-Дону: Терра, 2001. – 590 с.

3. Вансеев Б. Н. и др. Надежность асинхронных электродвигателей / К.: Техника, 1983. – 143 с.

4. Курчаткин В. В. Надежность и ремонт машин / В. В. Курчаткин, Н. Ф. Тельнов, К. А. Ачкасов и др. – М.: Колос, 2000. – 776 с.

5. Хандола О.Ю. Методика розрахунку основних параметрів лопатевих кормозмішувачів / О. Ю. Хандола, – Х.: Вісник ХНТУСГ, 2015. – № 153.

6. ГСТУ 46.007-2000 року. Типова методика визначення якості змішування кормів. Загальні положення [Текст]. – Ввід. 2000-01-01. – М.: Видавництво стандартів, 2000. – 45 с.

7. Терюшков В. П. Обоснование параметров лопастей быстроходных смесителей сухих кормов. / В. П. Терюшков, А. В. Чупшев, М. В. Коновалова / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-практической конференции (Минск, 19-20 октября 2011 г.): в 3 т. / Национальная академия наук Беларуси, Республиканское унитарное предприятие "Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства". – Минск, 2011. – Т. 2. – С.180-185.

8. Хандола Ю. М. Зниження втрат електричної енергії при дозуванні кормових сумішей. / Ю. М. Хандола, А. І. Серєда, М. Ю. Серєдин, – Х.: Вісник ХНТУСГ, 2014. № 153.

9. Ревенко І. Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі / І. Ревенко, Т. Лісовенко, В. Хмельовський // Пропозиція. – 2008. – № 9. – С. 106-114.

Аннотация

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СМЕСИТЕЛЕЙ КОРМОВ

Лисиченко Н.Л., Хандола Ю. М., Серєда А. І., Назаренко О. Ю.

Проведены исследования для выявления оптимального коэффициента загрузки асинхронных двигателей электроприводов смесителей кормов. Предложены рекомендации для увеличения срока службы электродвигателей, которые выработали свой ресурс, за счет их оптимальной загрузки.

Abstract

PERFECTION OF SELECTION METHODS ELECTRIC MOTORS FOR ELECTRIC DRIVERS OF FEED MIXERS

M. Lysychenko, U. Handola, A. Sereda, O. Nazarenko

The research has been carried out to determine the optimal load factor for asynchronous motors of the faucet drives feed mixers. Proposed recommendations for increasing the service life of electric motors that have already developed their resource, due to their optimal loading.