

УДК 621.313.333.004.58

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ШВИДКОСТІ ВИТРАТИ РЕСУРСУ ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ПРИВОДУ ВОВЧКА

*Груздєв А.О., здобувач вищої освіти ступеня вищої освіти «Магістр».*

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,  
м. Запоріжжя, Україна.*

На сьогодні у переробній галузі виробництва для приводу робочих машин використовують, головним чином, трифазні асинхронні двигуни. Це обумовлено їх порівняно незначною вартістю, значною конструкційною надійністю, високими енергетичними показниками, простотою монтажу і іншими позитивними якостями [1-3]. Не зважаючи на те, що під час їх виробництва при випробуваннях на надійність відмовляє на більше 2-3% електродвигунів, на практиці кількість відмов збільшується і може сягати до 25 % від усього парку електродвигунів на рік [4-6]. Такий факт викликаний експлуатаційними умовами, які не було враховано при виробництві асинхронних двигунів: суттєве зниження якості електроенергії (провали напруги, несиметрії напруги тощо), перевантаження з боку робочих машин, вологість і агресивність навколишнього середовища, суттєві коливання температури навколишнього середовища, недосконалість систем захисту від аварійних режимів роботи, несвоєчасне проведення профілактичних заходів тощо [7-9].

Одним з технологічних процесів переробки продуктової сировини є виробництво м'ясного фаршу. При аналізі експлуатаційних впливів на асинхронний двигун, встановлений у вовчку технологічної лінії виробництва м'ясного фаршу, виявлено, що при переробці м'яса нижчого гатунку він періодично знаходиться під впливом технологічних перевантажень з боку вовчка. Тому необхідно дослідити процес теплового зношення ізоляції, щоб отримати значення швидкості теплового зношення ізоляції для настроювання пристроїв захисту або покращення режиму роботи. Більшість існуючих математичних моделей вказаного процесу на виході містять температуру обмотки статора електродвигуна, яка не є достатньо інформативним параметром, і не враховують попередній тепловий стан електродвигуна. Тому необхідно скласти математичну модель швидкості теплового зношення ізоляції з урахуванням завантаження електродвигуна і температури навколишнього середовища.

Розробка зазначеної математичної моделі була здійснена на прикладі вовчка типу К6-ФВП-120, який має продуктивність 2500 кг/год. Механізм вовчка приводиться у дію асинхронним двигуном АИР132М2, який має потужність 11 кВт. Під час розробки проаналізовано процес електромеханічного перетворення енергії у приводному електродвигуні вказаного вовчка з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини і її конструктивних особливостей та отримано рівняння ковзання цього асинхронного двигуна у функції коефіцієнта завантаження:

$$s = \frac{0,06k_z - 0,9229}{0,06k_z - 0,018} - \sqrt{\frac{0,06k_z - 0,9229}{0,06k_z - 0,018} \div \frac{0,06k_z - 0,0010638}{0,06k_z - 0,018}}, \quad (1)$$

де  $k_z$  – коефіцієнт завантаження електродвигуна.

Подальший аналіз процесу електромеханічного перетворення енергії у приводному електродвигуні за допомогою його Г-подібної схеми заміщення [10] дозволив встановити залежність втрат потужності у елементах конструкції електродвигуна від його ковзання, яка була використана при аналізі теплових процесів. Для аналізу теплових процесів у приводному електродвигуні застосовано його еквівалентну триелементну теплову схему заміщення [11], що дало змогу встановити залежність між усталеним перевищенням температури обмотки статора і ковзанням:

$$t_y = \frac{7797,24}{(0,42 + 0,26/s)^2} + 51,752. \quad (2)$$

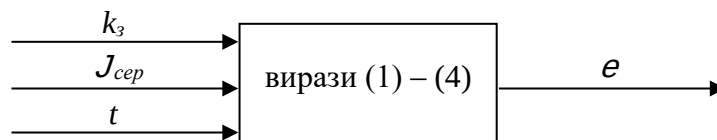
Застосувавши рівняння нагріву і охолодження та рівняння швидкості теплового зношення ізоляції обмотки статора асинхронного двигуна [12], отримано залежність швидкості теплового зношення його ізоляції при роботі і під час паузи у функції усталеного перевищення температури обмотки, температури навколишнього середовища і часу роботи та паузи:

$$e_{робота} = 1 \times \exp \left( \frac{29,673 - \frac{12700}{t_y (1 - \exp(-t/1883)) + t_{поч} \times \exp(-t/1883) + J_{сер} + 273}}{\theta} \right); \quad (3)$$

$$e_{пауза} = 1 \times \exp \left( \frac{29,673 - \frac{12700}{t_{поч} \times \exp(-t/9415) + J_{сер} + 273}}{\theta} \right); \quad (4)$$

де  $t_{поч}$  – перевищення температури електродвигуна на початку роботи чи паузи, °C;  $J_{сер}$  – температура навколишнього середовища, °C;  $t$  – час роботи чи паузи електродвигуна, с.

У підсумку математична модель швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного двигуна приводу вовчка типу К6-ФВП-120 з урахуванням завантаження електродвигуна і температури навколишнього середовища виглядає так, як показано на рис.1.



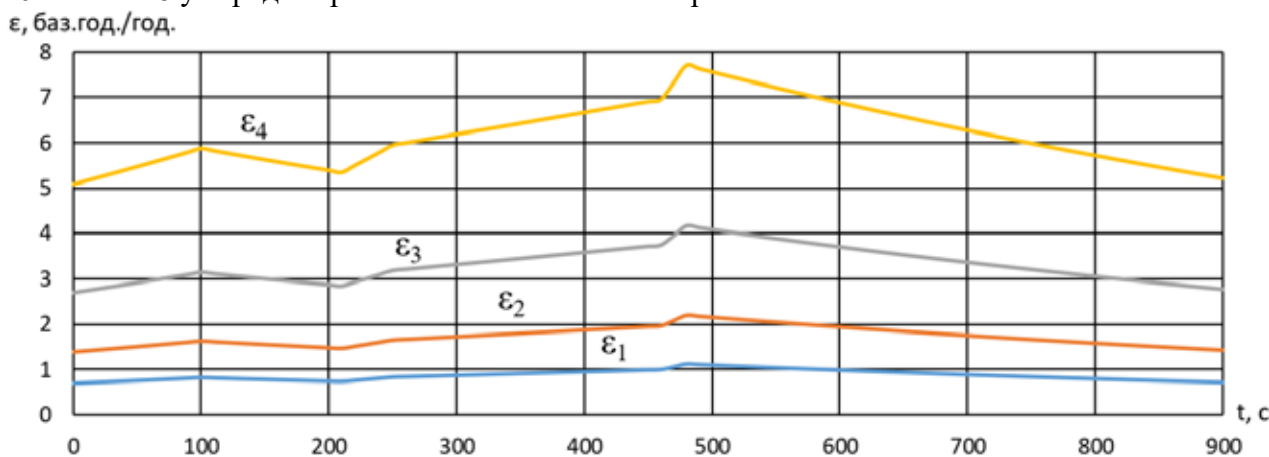
**Рис. 1. Математична модель швидкості теплового зношення ізоляції асинхронного двигуна приводу вовчка типу К6-ФВП-120**

При дослідженні швидкості теплового зношення ізоляції обмотки статора асинхронного двигуна приводу вовчка за допомогою отриманої математичної моделі враховано, що при перемелюванні однієї порції м'яса електродвигун працює протягом 8 хв., після чого зупиняється на 7 хв., і прийнято, що при перемелюванні м'яса нижчого гатунку через наявність у ньому твердих фракцій (дрібних кісточок, жил тощо) коефіцієнт завантаження змінюється так, як показано у табл.1.

**Таблиця 1 – Залежність  $k_3 = f(t)$  при перемелюванні однієї порції м'яса**

|         |     |     |     |     |     |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| $k_3$   | 1,4 | 1,0 | 1,6 | 1,3 | 2,0 |
| $t$ , с | 100 | 110 | 40  | 210 | 20  |

Результати дослідження  $e = f(t)$  для роботи асинхронного двигуна приводу вовчка типу К6-ФВП-120 у середині робочої зміни показані на рис.2.



**Рис. 2. Залежність  $e = f(t)$  для роботи асинхронного двигуна приводу вовчка типу К6-ФВП-120 у середині робочої зміни**

На рис.2 позначено:  $\varepsilon_1$  – залежність  $e = f(t)$  за  $J_{сер} = 10^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon_2$  – залежність  $e = f(t)$  за  $J_{сер} = 20^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon_3$  – залежність  $e = f(t)$  за  $J_{сер} = 30^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon_4$  – залежність  $e = f(t)$  за  $J_{сер} = 40^\circ\text{C}$ .

З результатів дослідження, наведених на рис.2, випливає, що швидкість теплового зношення ізоляції за температури навколишнього середовища  $10^\circ\text{C}$  перевищує номінальне значення тільки при значному перевантаженні. Зі збільшенням температури навколишнього середовища охолодження обмотки стає недостатнім. Так, при температурі  $20^\circ\text{C}$  швидкість теплового зношення ізоляції коливається від 1,39 до 2,19 баз.год./год.; при  $30^\circ\text{C}$  – від 2,69 до 4,16 баз.год./год.; при  $40^\circ\text{C}$  – від 5 до 7,7 баз.год./год. Такі значення, які перевищують номінальне (1 баз.год./год.) призводять до швидкої втрати її діелектричних властивостей, що в свою чергу викликає виткові замикання, збільшення споживаного струму у обмотках і ще більше перегрівання. Тому прийнято, що значення швидкості теплового зношення ізоляції обмотки статора асинхронного двигуна приводу вовчка, після якого настають різкі незворотні хімічні процеси у ізоляції, що призводять до її швидкого руйнування і виходу електродвигуна з ладу, дорівнює 2 баз.год./год. і саме воно має бути використане при налаштуванні пристроїв захисту або покращення режиму роботи.

#### **Список використаних джерел.**

1. Vovk O., Kvitka S., Halko S., Strebkov O. Energy-Saving Control of Asynchronous Electric Motors for Driving Working Machines. Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing, 2019. P.415-423.
2. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Волошина А.А., Стребков О.А. Розробка системи забезпечення ресурсоенергозберігаючого експлуатаційного режиму роботи асинхронного електродвигуна // Енергетика і автоматика. 2016. № 4(30). С.89-97.
3. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Стребков О.А. Непрямий спосіб вимірювання імпульсу квадрату пускового струму. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2016. Вип. 175. С.91-93.
4. Квітка С.О., Безменнікова Л.М., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій захисту групи трифазних асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Праці ТДАТУ. 2012. Вип.12, т.2. С.23-27.
5. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій контролю функціонального стану і захисту асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2017. Вип.186. С. 90-92.
6. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С. Контроль витрати ресурсу ізоляції асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги живлячої мережі. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип.15, т.2. С.154-159.
7. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С. Контроль витрати ресурсу ізоляції асинхронних електродвигунів при відхиленні напруги живлячої мережі. Праці ТДАТУ. 2015. Вип.15, т.2. С.154-159.
8. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Пристрій контролю функціонального стану та захисту групи асинхронних електродвигунів від аварійних режимів роботи. Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. 2014. Вип.153. С. 85-87.
9. Вовк О.Ю. Ресурсозберігаюче управління асинхронними електродвигунами. Енергозабезпечення технологічних процесів : мат. наук.-практ конф....(13-14 червня 2019 р., Мелітополь). Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С.12.
10. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Стребков О.А., Волошина А.А. Енергозберігаючі режими роботи асинхронних електродвигунів при змінному завантаженні. Праці ТДАТУ. 2019. Вип.19, т.3. С.142-150.
11. Вовк О.Ю. Сталий процес нагрівання асинхронного електродвигуна. Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Вип.5. 2002. С.62-66.
12. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Стьопін Ю.О. Дослідження теплових процесів асинхронних електродвигунів під впливом неповнофазного режиму роботи. Праці ТДАТУ. 2015. Вип.15, т.2. С.218-222.

**Науковий керівник: Вовк О.Ю., к.т.н., доц.**