

УДК 621.3:664.7

Ю. М. Куценко, доц., д-р техн. наук

Таврійський державний агротехнологічний університет, Мелітополь

Дослідження нагріву приводних електродвигунів вальцьового станка лінії виробництва борошна

Робота присвячена дослідженню процесів нагріву трифазних асинхронних двигунів приводу вальцьового станка. Проведено моделювання процесу нагрівання в середовищі MATLAB 7.1 в пакеті Simulink. Отримані графічні залежності нагріву приводних електродвигунів від режиму роботи станка, етапу виробництва борошна.

електродвигун, моделювання, процес нагріву, вальцьовий станок

Ю. Н. Куценко, доц., д-р техн. наук

Таврийский государственный агротехнологический университет, Мелитополь

Исследование нагрева приводных электродвигателей вальцевого станка линии производства муки

Робота посвящена исследованию процессов нагрева трехфазных асинхронных двигателей привода вальцевого станка. Проведено моделирование процесса нагрева в среде MATLAB 7.1 в пакете Simulink. Получены графические зависимости нагрева приводных электродвигателей от режима работы станка, этапа производства муки.

электродвигатель, моделирование, процесс нагрева, вальцевой станок

Постановка проблеми. Технологічний цикл виготовлення борошна можна розділити на три основні етапи: підготовка зерна до розмелу, розмел з виділенням окремих фракцій, накопичення і зберігання. В свою чергу, кожний етап характеризується набором та послідовністю технологічних прийомів та операцій. Для малогабаритних ліній виробництва борошна характерні дві базові технологічні схеми, які відрізняються способом сортування проміжних фракцій. Спосіб сортування визначає параметри навантаження вальцьового устаткування і висуває специфічні вимоги до агрегатів та їх налагодження. Головною особливістю таких схем є зменшена кількість драних і розмольних систем порівняно з технологічними схемами більшої продуктивності, що висуває підвищені вимоги до якості переробки продукту на вальцьовому устаткуванні [1,2].

Аналіз останніх досліджень. В технологічному процесі вимольних блоків при виробництві борошна особлива роль відводиться подрібненню зерна і проміжних продуктів. Основною машиною, що подрібнює, в борошномельному виробництві є вальцьові станки. Основними факторами, що впливають на енергетику процесу, – структурно-механічні і технологічні якості зерна, кінематичні, геометричні і мікрогеометричні параметри вальців. Внаслідок нерівномірності параметрів зернового матеріалу та необхідності реалізації різних режимів роботи, розрахункові навантаження для таких станків завищують.

Задача вибору двигуна за потужністю ускладнюється тим, що навантаження на його валу не залишається постійним, а залежить від багатьох факторів, зокрема і технологічних: режиму роботи та завантаження. Розрахункова потужність

електродвигунів залежить від робочого зазору між вальцями [3]. Введення коефіцієнта запасу $k_{\text{зап}}$ при розрахунках пояснюється технологічною необхідністю збільшення надійності роботи вальцьового станка. Великі розбіжності і необхідність реалізації різних типів навантаження призводять до завищення потужності приводних двигунів.

Формулювання цілей статті. Провести аналіз процесу нагріву електродвигунів приводу вальцьового станка з метою обґрунтування вибору потужності двигунів за умови дотримання якості продукції.

Основна частина. При розробці електроприводу повинні забезпечуватись надійність, масогабаритні, статичні та динамічні показники, які визначають найбільш важливий параметр – потужність електродвигуна [4].

При проведенні аналізу будови і конструктивних особливостей вальцьових станків відмічено наявність биття вальців, що викликано радіальними коливаннями розмірів вальців. Радіальні коливання розмірів мають місце при виготовленні вальців, коли осі валів не співпадають з осями тіл вальців, а також наявністю радіальних коливань підшипникових вузлів. Крім того, міжвальцьовий зазор може бути нерівномірним внаслідок перехрещування осей вальців у просторі. В загальному випадку міжвальцьовий зазор залежить від радіального зсуву осі вальця і кутової швидкості. Коливання міжвальцьового зазору можна визначити за рівнянням

$$b = A - R - \varepsilon \cdot \cos(\omega \cdot t) - \sqrt{\varepsilon^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t) + R^2 - \varepsilon^2}, \quad (1)$$

де A – міжцентрова відстань;

ε – радіальне зміщення осі;

R – радіус вальця;

ω – кутова швидкість вальця.

Сумарний міжвальцьовий зазор за наявності радіальних коливань двох вальців буде дорівнювати

$$\sum b = b_{\text{ш.в.}} - b_{\text{п.в.}}, \quad (2)$$

де $b_{\text{ш.в.}}$ – радіальні коливання швидкообертового вальця;

$b_{\text{п.в.}}$ – радіальні коливання повільнообертового вальця.

З метою визначення потужності приводних електродвигунів виконані розрахунки конструктивних параметрів вальцьового станка [5]:

- для швидкообертового вальця: міжцентрова відстань – 250,8 мм; радіальне зміщення осі (мінімально припустиме) – 0,02 мм; радіус вальця – 250 мм; кутова швидкість вальця – 46,1 рад/с;

- для повільнообертового вальця: міжцентрова відстань – 250,8 мм; радіальне зміщення осі (мінімально припустиме) – 0,02 мм; радіус вальця – 250 мм; кутова швидкість вальця – 18,4 рад/с.

Графічні залежності радіальних коливань вальців наведені на рис.1, сумарний міжвальцьовий зазор – на рис. 2.

Аналіз залежностей зміни сумарного міжвальцьового зазору за найменших можливих радіальних коливань вальців дає підставу зробити попередні висновки. За наявності радіальних коливань потужність, необхідна для приводу вальцьового станка, зростає пропорційно сумарному коливанню і для наведених розрахунків складає 4,00% за амплітудою або 8,15% за параметрами втрат і нагріву приводних двигунів.

Спостерігаємо, що параметри навантаження на кожному етапі виробництва борошна суттєво різняться.

Для забезпечення правильності вибору електродвигунів необхідно:

- вибирати приводний двигун із зниженим значенням коефіцієнта запасу;
- проводити перевірку приводного електродвигуна за параметрами нагріву при довготривалому навантаженні на різних етапах виробництва.

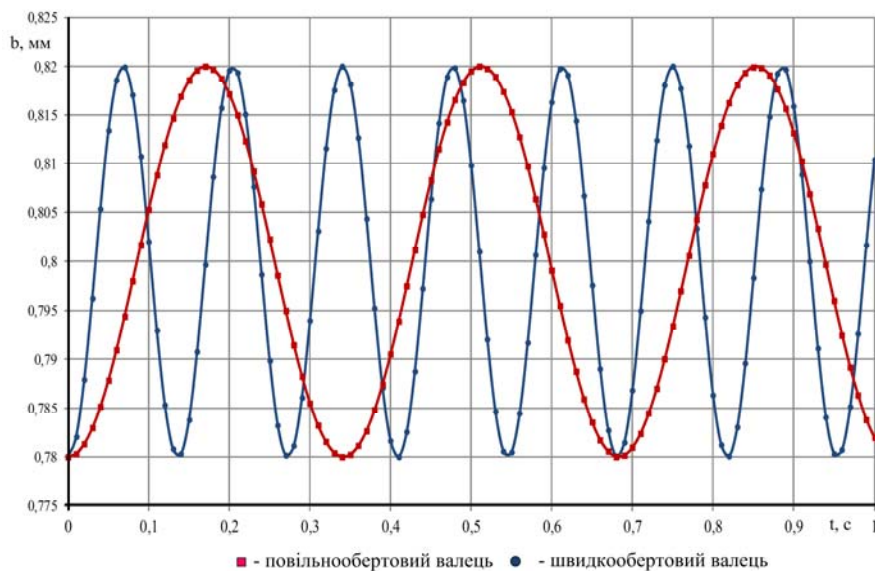


Рисунок 1 – Радіальні коливання вальців

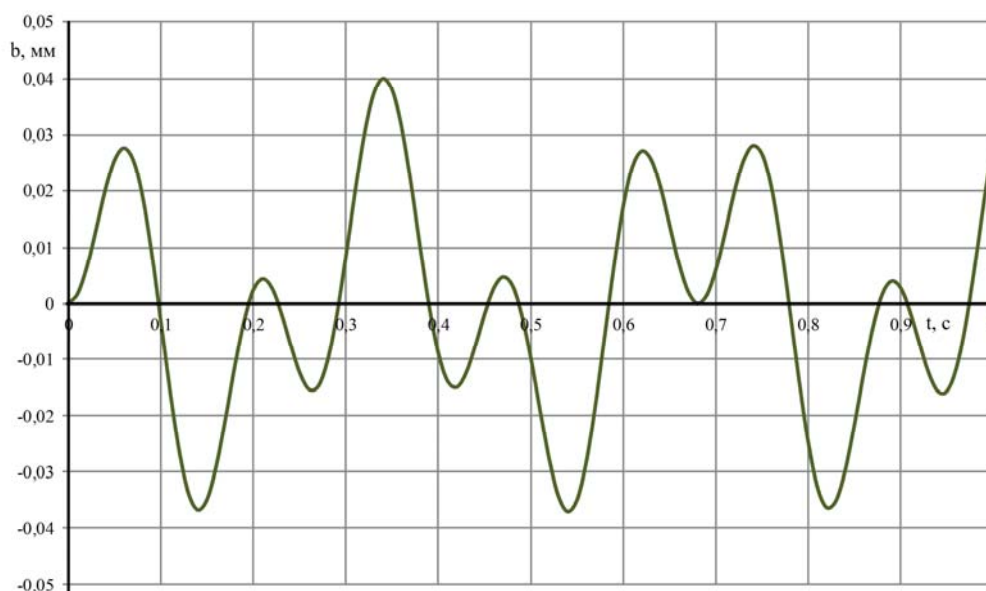


Рисунок 2 - Сумарний міжвальцьовий зазор

Як відомо, процес нагріву двигуна визначається і описується диференціальним рівнянням [3,4]

$$C \cdot \frac{d\tau}{dt} + A \cdot \tau = \Delta P_T, \quad (3)$$

де ΔP_T – потужність теплових втрат в двигуні, Вт;

τ – перебільшення температури, $^{\circ}\text{C}$;

C – теплоємність двигуна, Дж/ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{кг}$;

A – тепловіддача, Дж/ $^{\circ}\text{C}$.

Для спрощення вирішення рівняння (3) вводимо відносні (безрозмірні) одиниці і перетворюємо рівняння в форму Коші

$$\frac{d\tau}{dt} = \frac{1}{T_H} \cdot \Delta P_T - \frac{1}{T_H} \cdot \bar{\tau}, \quad (4)$$

де $\bar{\tau} = \frac{\tau_0}{\tau_{\max}}$ – відносне перебільшення температури;

τ_0 – початкове перебільшення температури, $^{\circ}\text{C}$;

τ_{\max} – максимальне перебільшення температури, яке визначається класом ізоляції двигуна, $^{\circ}\text{C}$;

T_H – постійна часу нагрівання, с;

$\Delta \bar{P}_T = \frac{\Delta P_T}{P_{\max}} = \frac{\Delta P_T}{A \cdot \tau_{\max}}$ – відносна потужність теплових втрат у двигуні.

Введення відносних (безрозмірних) одиниць суттєво спрощує задачу, замість двох параметрів (A і C) в рівнянні (3) використовується лише один параметр – T_H – постійна часу нагрівання, яку можна визначити для будь-якого електродвигуна за паспортними даними

$$T_H = \frac{C \cdot \eta_H \cdot \tau_{\max} \cdot m}{P_H \cdot (1 - \eta_H)}, \quad (5)$$

де m – маса активних матеріалів електродвигуна, кг;

η_H – номінальний ККД, в.о.;

P_H – номінальна потужність, Вт.

З урахуванням мети роботи та поставленої задачі, проводимо вибір приводних електродвигунів без урахування коефіцієнта запасу [6]:

- для швидкообертового вальця – МАК 160М-4 CESI 06 ATEX 059 з наступними номінальними даними:

- номінальна потужність, $P_H = 11$ кВт;
- номінальний ККД, $\eta_H = 86,5\%$;
- коефіцієнт корисної дії, $\cos\varphi_H = 0,80$;
- маса активних матеріалів, $m = 36,5$ кг;
- клас ізоляції «Т4»;
- допустима температура нагрівання $\tau_{\max} = 135^{\circ}\text{C}$.

- для повільнообертового вальця – МАК 112М-4 CESI 06 ATEX 059 з наступними номінальними даними:

- номінальна потужність, $P_H = 4,0$ кВт;
- номінальний ККД, $\eta_H = 85,5\%$;
- маса активних матеріалів, $m = 7,6$ кг;
- клас ізоляції «Т4»;

- допустима температура нагрівання, $\tau_{\max}=135^{\circ}\text{C}$.

Розраховуємо за формулою (4,5) постійну часу нагрівання:

- для швидкообертового вальця

$$T_H = \frac{390 \cdot 0,865 \cdot 135 \cdot 36,5}{11000 \cdot (1 - 0,865)} = 1119,38 \text{ с}$$

- для повільнообертового вальця

$$T_H = \frac{390 \cdot 0,855 \cdot 135 \cdot 7,6}{4000 \cdot (1 - 0,855)} = 589,86 \text{ с.}$$

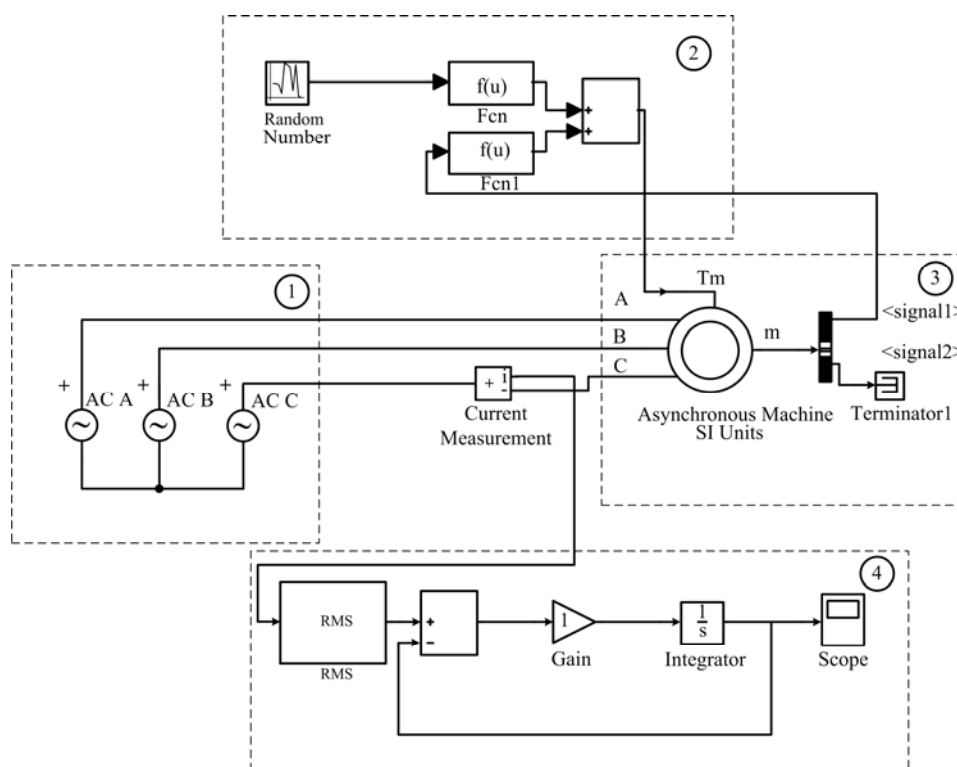
Моделювання процесу нагрівання приводного електродвигуна здійснюємо в середовищі MATLAB 7.1 в пакеті Simulink.

Для цього необхідно рівняння (4) представити в операторній формі

$$s \cdot \bar{\tau} = \frac{1}{T_H} \cdot \Delta P_T - \frac{1}{T_H} \cdot \bar{\tau}. \quad (6)$$

Моделювання в пакеті Simulink рівняння (5) здійснюється складанням структурної схеми, яка складається з блоків: суматора; аналогового підсилювача; інтегратора; осцилографа; блока представлення втрат або навантаження.

Структурна схема вирішення рівняння наведена на рис. 3



1 – блок моделювання джерела живлення; 2 – блок моделювання навантаження;

3 – блок моделювання асинхронного електродвигуна;

4 – блок моделювання нагріву асинхронного електродвигуна

Рисунок 3 – Структурна схема блоку моделювання

Для правильної роботи структурної схеми необхідно провести настройку блоків:

- для аналогового підсилювача необхідно задати коефіцієнт передачі, який є зворотною величиною теплової постійній двигуна;

- для інтегратора задається початковий стан відносної температури.

У вікні настройки аналогового підсилювача задаємо коефіцієнт передачі ($1/T_H$), а в полі настройки інтегратора початковий стан відносної температури, приймаючи початкову температуру електродвигуна 25°C , а максимальну припустиму для даного класу ізоляції «Т4» – 135°C (0,200).

Моделювання відносних втрат, які визначаються насамперед навантаженням, що створюється робочою машиною, необхідно проводити не тільки з урахуванням потужності, а також режиму роботи обладнання.

Як відомо, відносні втрати пропорційні навантажувальному моменту на валу електродвигуна. Оскільки моделювання процесу нагріву здійснюється з використанням відносних показників, то необхідно визначити параметри відносного навантаження i , як наслідок, відносних втрат: номінальне завантаження двигуна швидкообертового вальця

складає $\frac{8,1 \cdot 1,2}{11} \cdot \sum b = 0,9 \cdot \left(1 + \frac{\sum b}{0,8}\right)$, номінальне завантаження двигуна

швидкообертового вальця складає $\frac{3,2 \cdot 1,2}{4,0} \cdot \sum b = 0,96 \cdot \left(1 + \frac{\sum b}{0,8}\right)$.

Результати розрахунків проводимо за аналогічних параметрів вальцевого станка.

Діаграми нагріву приводних електродвигунів приводу вальців з урахуванням режиму роботи, етапу виробництва борошна та радіальних коливання наведені на рис. 4...6.

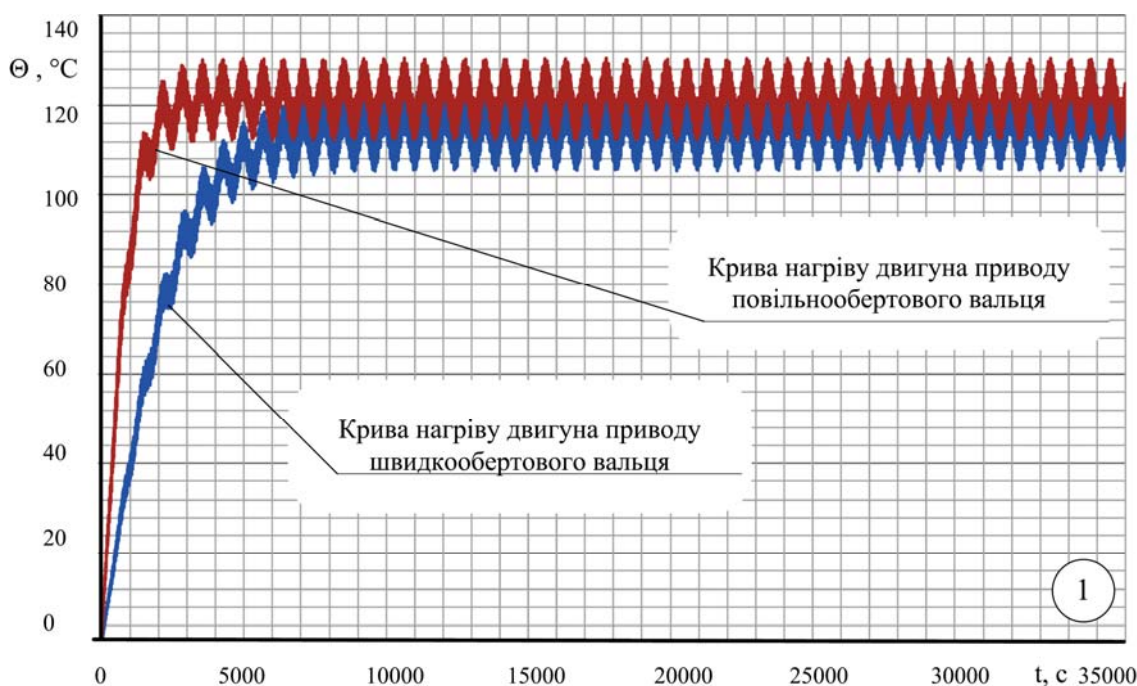


Рисунок 4 - Результати моделювання нагріву приводних електродвигунів вальцевих станків I драної та I вимольної системи

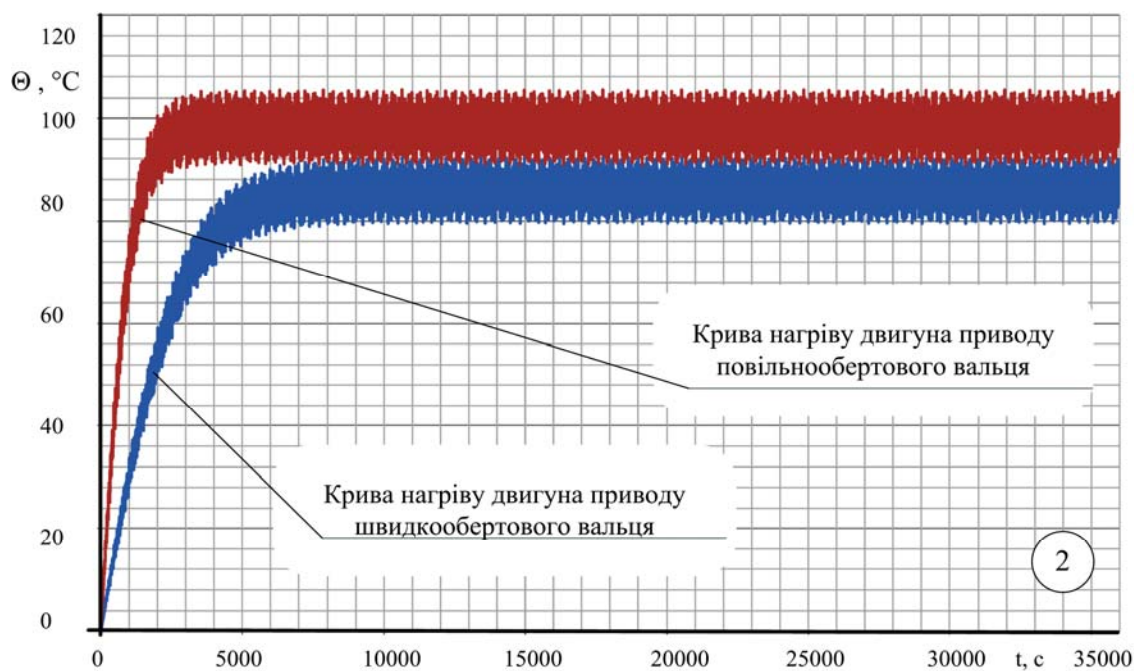


Рисунок 5 - Результати моделювання нагріву приводних електродвигунів вальцевих станків II драної та II вимольної системи

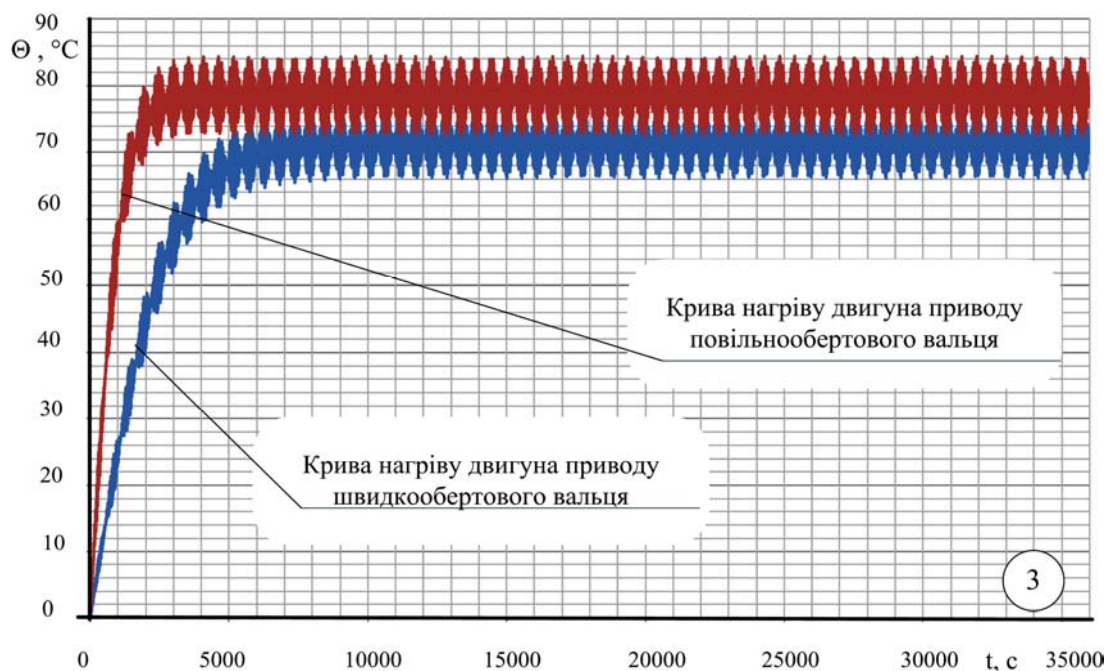


Рисунок 6 - Результати моделювання нагріву приводних електродвигунів вальцевих станків III драної та III вимольної системи

Згідно з наведеними залежностями (діаграми) можна зробити висновки щодо необхідності заміни приводних електродвигунів вальцевого станка на двигуни меншої потужності. Характер кривих нагріву вказує на істотний вплив радіальних коливань валів на енергетичні показники приводу. Згідно з результатами моделювання можна зробити висновки щодо заміни приводних двигунів на одну ступінь меншої потужності. Відповідно електродвигун серії МАК 160 М-4 можна замінити на МАК 132

М-4, а електродвигун серії МАК 112 М-4 – на МАК 100 М-4. Доцільно застосовувати електроприводи, що регулюються.

Висновки.

1. У результаті розрахунків та проведеного моделювання встановлено, що за наявності радіальних коливань потужність, необхідна для приводу вальцьового станка, зростає пропорційно сумарному коливанню і для наведених розрахунків складає 4,00% за амплітудою або 8,15% за параметрами втрат і нагріву приводних двигунів.

2. Моделювання процесу нагріву електродвигунів приводу вальцьового станка за постійною часу нагрівання T_H дає можливість обґрунтовано вибирати потужність електродвигунів. При цьому враховуються етапи виробництва борошна і забезпечується якість продукції, що виробляється.

Список літератури

1. Вашкевич В. В. Техника и технология производства муки / В. В. Вашкевич, О. Б. Горнец, Г. Н. Ильичев. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2000. – 209 с.
2. Царенко О. М. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / [О. М. Царенко, Д. Г. Войтюк, В. М. Швайко та ін.]; за ред. С. С. Яцуна. – К.: Мета, 2003. – 448 с.
3. Демский Д. Б. Оборудование для производства муки, крупы и комбикормов: справ очник / Д. Б. Демский, В. Ф. Веденьев. – М. : ДеЛи принт, 2005. – 760 с.
4. Могучева Э. П. Проектирование крупяных заводов, цехов и линий: учебное пособие / Э. П. Могучева, Л. В. Устинова. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2001. – 196 с.
5. Тарасов В.П. Технологическое оборудование зерноперерабатывающих предприятий: учебное пособие / В.П. Тарасов. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2002. – 229 с.
6. Euromotori® s.r.l. Serie MAK.–Macherio (MB) – Italy, 2013. – 34 с. [Електронний ресурс] : – Режим доступу http://www.euromotori.it/allegati/catalogo_serieMAK.pdf.

Yuriy Kutsenko

Taurian State Agrotechnical University, Melitopol

Research of electric drive motors heating of valtsovoho stanka production of flour line rolling machine of the flour production line

The work examines the heating processes of three-phase asynchronous motor of the drive of rolling machine. The simulation of the heating process is performed in environment MATLAB 7.1 package Simulink. Graphical dependence of heating of electric drive motors from the operating mode of machine, and stage of production of flour.

During desing of electric drive reliability, weight and dimensions , static and dynamic parameters that define the most important parameter - the power of the motor must be ensured.

To determine the power of the drive motors calculations of structural parameters rolling machine are performed.

As a result, calculations and simulations conducted found that in presence of radial oscillations of the power required to drive the rolling machine, is increased proportionally to the total oscillation for the above calculations on 4,00% for amplitude and 8,15 % for parameters of losses and heating of drive motors.

Modeling of the process of heating of electric drive motors of rolling machine for heating time constant T_H enables reasonable choice of electric motors' power. This takes into account the stages of production of flour and ensures the quality of products produced.

electric motor, modeling, process of heating, valtsovy machine

Одержано 28.04.14