

ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРІВ

Синявський О. Ю., Савченко В. В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Проведено дослідження впливу відхилення напруги на кутову швидкість, технологічні та енергетичні характеристики вентиляторів. Встановлено залежності продуктивності, тиску, потужності вентиляторів та питомої витрати електроенергії від напруги.

Постановка проблеми. Внаслідок відхилення напруги від номінального значення виникають збитки, які мають електромагнітну і технологічну складову. Електромагнітна складова визначається втратою активної потужності і зміною терміну служби ізоляції електрообладнання.

Технологічна складова збитків обумовлена впливом відхилення напруги на продуктивність технологічних установок та собівартість продукції, що випускається [1].

Нині відхилення напруги в електромережах України складає 15–28 % від номінального, що значно перевищує допустиме значення [5].

Внаслідок відхилення напруги змінюється кутова швидкість електродвигуна, яка обумовлює зміну технологічних і енергетичних характеристик робочих машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теорії електропривода отримані аналітичні залежності моменту асинхронного електродвигуна від напруги та втрат енергії в усталених режимах роботи при номінальних параметрах живлячої мережі [2]. Встановленні залежності продуктивності, тиску, моменту статичних опорів та потужності відцентрових вентиляторів від кутової швидкості [3].

Проте не проводилися дослідження з впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики відцентрових вентиляторів.

Мета статті. Встановлення впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики відцентрових вентиляторів.

Основні матеріали досліджень. Аналіз зміни кутової швидкості електроприводів вентиляторів та втрат енергії при відхиленні напруги проводився з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик робочих машин і механізмів, енергетики усталених режимів електроприводів, та застосуванням математичного моделювання. При експериментальних дослідженнях напругу на двигуні вентилятора змінювали за допомогою тиристорного регулятора напруги і визначали кутову швидкість, продуктивність, тиск та потужність вентилятора і розраховували питому витрату електроенергії. При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [2]:

$$M_{\delta} = \beta_{\delta} U_*^2 (\omega_0 - \omega), \quad (1)$$

де M_{δ} – момент двигуна, Н·м;
 β_{δ} – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;
 ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹;
 ω – задана кутова швидкість, с⁻¹;
 $U_* = U/U_n$ – напруга у відносних одиницях.

Механічна характеристика вентиляторів має вигляд [3,4]:

$$M_c = M_0 + (M_{cn} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (2)$$

де M_c – момент статичних опорів насоса, Н·м, при заданій кутовій швидкості;

M_0 – початковий момент, Н·м;

M_{cn} – момент статичних опорів, Н·м, при номінальній кутовій швидкості;

ω і ω_n – задане і номінальне значення кутової швидкості, с⁻¹.

В усталеному режимі роботи

$$\beta_{\delta} U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{cn} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (3)$$

або

$$\beta_{\delta} U_*^2 (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = M_0 + (M_{cn} - M_0) \omega_*^2, \quad (4)$$

де $\omega_* = \omega/\omega_n$ – кутова швидкість у відносних одиницях.

Після перетворень отримаємо:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0) \omega_*^2}{\beta_{\delta} (\omega_0 - \omega_n \omega_*)}}. \quad (5)$$

Для відцентрових вентиляторів продуктивність

$$Q_* = \omega_*, \quad (6)$$

тиск

$$p_* = \omega_*^2, \quad (7)$$

потужність

$$P_* = \omega_*^3. \quad (8)$$

Тоді закони зміни цих величин при відхиленні напруги запишуться у вигляді:

для продуктивності вентилятора –

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0)Q_*^2}{\beta_0(\omega_0 - \omega_n Q_*)}}, \quad (9)$$

тиску –

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0)p_*}{\beta_0(\omega_0 - \omega_n \sqrt{p_*})}}, \quad (10)$$

потужності –

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0)P_*^{2/3}}{\beta_0(\omega_0 - \omega_n \sqrt[3]{P_*})}}. \quad (11)$$

Експериментальні дослідження зміни продуктивності, тиску і потужності відцентрових вентиляторів ВЦ4-75-2,5 та ЗАВ 446 при відхиленні напруги підтвердили адекватність залежностей (9) – (11). Результати досліджень представлені на рис. 1.

Як впливає із наведених залежностей, при відхиленні напруги продуктивність, тиск та потужність вентиляторів змінюються за складними алгоритмами.

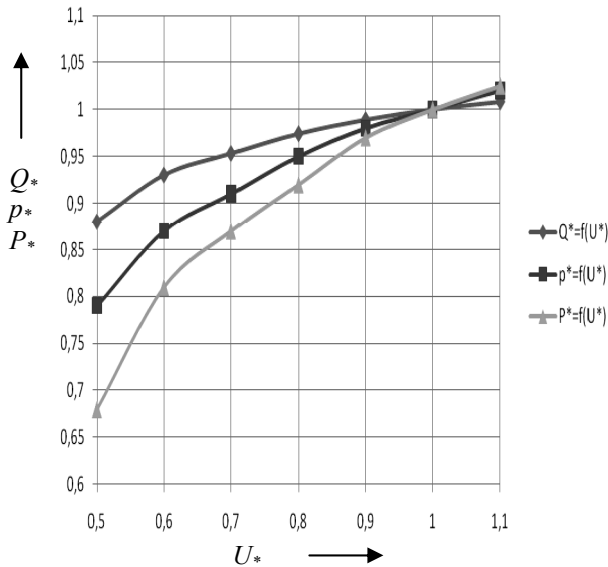


Рисунок 1 – Залежності продуктивності (Q), тиску (p) і потужності (P) відцентрових вентиляторів від напруги у відносних одиницях

Відхилення напруги впливає також на енергетичні характеристики вентилятора, однією з яких є питома витрата електроенергії, кВт·год/м³, яка визначається як:

$$q = P_1 / Q, \quad (12)$$

де P_1 – потужність, споживана двигуном з мережі, кВт.

При відхиленні напруги змінюються постійні втрати потужності, до яких відносять механічні і втрати на перемагнічування та гістерезис, а також змінні втрати.

Якщо знехтувати механічними втратами і втратами в сталі ротора, то постійні втрати

$$\Delta P_c = \Delta P_{cn} U_*^2. \quad (13)$$

Змінні втрати потужності при зміні напруги живлення асинхронного електродвигуна визначаються за формулою [2]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) M_0 \omega_0 s, \quad (14)$$

де ΔP_{v2} , ΔP_{v1} – змінні втрати потужності в колах ротора і статора, Вт;

R_1 – активний опір обмотки ротора, Ом;

R_2' – опір обмотки ротора, зведений до обмотки статора, Ом;

M_0 – момент двигуна, Н·м;

ω_0 – синхронна кутова швидкість, с⁻¹;

s – ковзання двигуна.

У вентиляторів початковий момент невеликий, тому їм можна знехтувати. Оскільки

$$M_{cn} = K_3 M_{0n}, \quad (15)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна, то згідно (1)

$$\beta_0 U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_{cn} \omega_*^2 = K_3 \beta_0 (\omega_0 - \omega_n) \omega_*^2, \quad (16)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, с⁻¹.

Тоді

$$s = \frac{K_3 s_n \omega_*^2}{U_*^2}. \quad (17)$$

Змінні втрати потужності з урахуванням (1) і (17) можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \beta_0 U_*^2 \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) \frac{\beta_0 \omega_0^2 K_3^2 s_n^2 \omega_*^4}{U_*^4}, \quad (19)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{vn} \omega_*^4 / U_*^4, \quad (20)$$

де ΔP_{vn} – змінні втрати потужності при номінальній напрузі.

У відносних одиницях вираз (12) записується у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{cn} + \Delta P_{vn}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vn} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vn})}{P_{2n} + \Delta P_{vn} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (21)$$

де P_{2n} і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі;

ΔP_{cn} і ΔP_c – постійні втрати;

ΔP_{vn} і ΔP_v – змінні втрати;

α – коефіцієнт втрат.

Розділивши чисельник і знаменник виразу (21) на P_{2n} та враховуючи те, що

$$P_2 / P_{2n} = M_{cn} \omega_*^2 \omega / M_{cn} \omega_n = \omega_*^3, \quad (22)$$

$$\Delta P_n = P_{2n} \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} = \Delta P_{vn} (\alpha + 1), \quad (23)$$

де η_n – ККД двигуна при номінальній напрузі, отримаємо

$$q_* = \frac{\omega_*^3 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + \omega_*^4 / U_*^4)}{(\alpha + 1)}}{\omega_* \left(1 + \frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right)} = \eta_n \omega_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + \omega_*^4 / U_*^4)}{\omega_*}, \quad (24)$$

або

$$q_* = \eta_n Q_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + Q_*^4 / U_*^4)}{Q_*}. \quad (25)$$

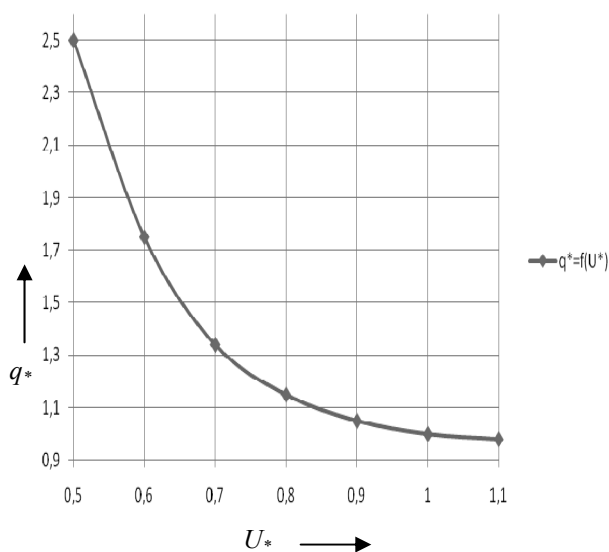


Рисунок 2 – Залежність питомої витрати електроенергії від напруги для відцентрових вентиляторів

Таким чином, зниження напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії у вентиляторів, а її підвищення – невелике зниження (рис. 2).

Висновки. При відхиленні напруги продуктивність, тиск і потужність відцентрових вентиляторів змінюються за складними алгоритмами.

При зниженні напруги на 20 % їх продуктивність знижується до 3 %, тиск – до 5 %, потужність – до 8 %, а питома витрата електроенергії зростає на 15 %.

Список використаних джерел

1. Аванесов В. М. Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения / В. М. Аванесов, Е. В. Садков // Энергобезопасность в документах и фактах. – 2005. – №4. – С. 19–21.
2. Электропривод / [Лавріненко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І. та ін.]; за ред. Ю. М. Лавріненка. – К.: Ліра-К, 2009. – 504 с.
3. Электропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Жулай С. Л., Зайцев Б. В., Лавріненко Ю. М. та ін.]; за ред. С. Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.
4. Перова М. Б. Качество сельского электро-снабжения: комплексный подход / М. Б. Перова – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. – 72 с.

Аннотация

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Синявский А. Ю., Савченко В. В.

Проведено исследование влияния отклонения напряжения на угловую скорость, технологические и энергетические характеристики вентиляторов. Установлены зависимости производительности, давления, мощности и удельных затрат электроэнергии вентиляторов от напряжения.

Abstract

INFLUENCE OF VOLTAGE DEVIATION FOR TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF FANS

V. Savchenko, A. Sinyavsky

Researches of influence of voltage deviation on the angular speed, technology and energy characteristics of the fans. The dependences of productivity, pressure, capacity and the unit cost of electricity from the voltage of fans are established.