

УДК 621.327.539

## **ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК**

**Синявський О. Ю.<sup>1</sup>, Савченко В. В.<sup>2</sup>, Трутень Ю. М.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>канд. техн. наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, [sinyavsky2008@ukr.net](mailto:sinyavsky2008@ukr.net)

<sup>2</sup>канд. техн. наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

<sup>3</sup>студент магістратури, ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут», м. Ніжин

**Анотація:** Проведено дослідження впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики вентиляційних установок. Отримано залежності продуктивності, тиску, потужності вентиляторів та питомої витрати електроенергії від напруги. Встановлено, що при зниженні напруги на 20 % їх продуктивність знижується до 3 %, тиск – до 5 %, потужність – до 8 %, а питома витрата електроенергії зростає на 15 %.

**Ключові слова:** вентиляційна установка, потужність, тиск, продуктивність вентилятора, питома витрата електроенергії.

**Постановка проблеми:** Відхилення напруги від номінального значення призводить до збитків, 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 електричних мережах України складає 15–28 % від номінального, що значно перевищує допустиме значення [2].

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

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

Проте не проводилися дослідження з впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики вентиляційних установок.

**Мета дослідження:** встановлення впливу відхилення напруги на технологічні та енергетичні характеристики вентиляційних установок.

**Виклад основного матеріалу:** При відхиленні напруги механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці описується рівнянням [3]:

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

де  $M_{\delta}$  – момент двигуна, Н·м;

$\beta_{\delta}$  – жорсткість механічної характеристики електродвигуна, Н·м·с;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;

$\omega$  – задана кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;

$U_* = U/U_n$  – напруга у відносних одиницях.

Механічна характеристика вентиляторів має вигляд [3]:

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

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

$M_0$  – початковий момент, Н·м;

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

$\omega$  і  $\omega_n$  – задане і номінальне значення кутової швидкості, с<sup>-1</sup>.

В усталеному режимі роботи

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

або

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

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

Із (4) отримаємо:

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

Для вентиляторів продуктивність прямо пропорційна кутовій швидкості, тиск – квадрату кутової швидкості, потужність – кубу кутової швидкості.

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

для продуктивності вентилятора

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0) Q_*^2}{\beta_o (\omega_0 - \omega_n Q_*)}}, \quad (6)$$

тиску

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0) p_*}{\beta_o (\omega_0 - \omega_n \sqrt{p_*})}}, \quad (7)$$

потужності

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{cn} - M_0) P_*^{2/3}}{\beta_o (\omega_0 - \omega_n \sqrt[3]{P_*})}}. \quad (8)$$

Експериментальні дослідження зміни продуктивності, тиску і потужності відцентрових вентиляторів ВЦ4-75-2,5 та ЗАВ 446 при відхиленні напруги підтвердили адекватність залежностей (6) – (8).

При відхиленні напруги продуктивність, тиск та потужність вентиляторів змінюються за складними алгоритмами (рис. 1).

## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

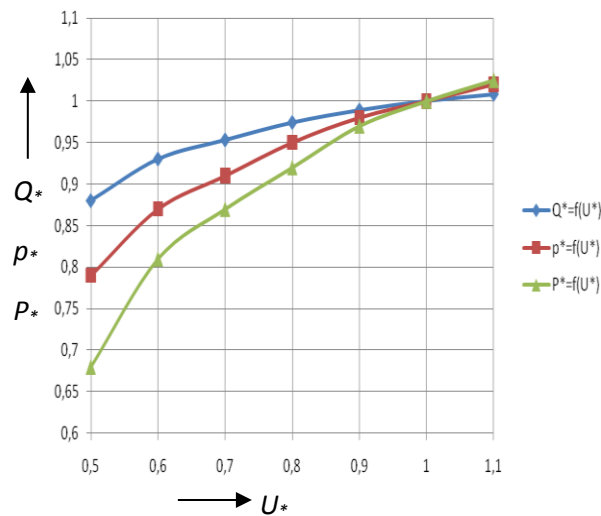


Рисунок 1 – Залежності продуктивності ( $Q$ ), тиску ( $p$ ) і потужності ( $P$ ) відцентрових вентиляторів від напруги у відносних одиницях

Відхилення напруги впливає також на енергетичні характеристики вентилятора, однією з яких є питома витрата електроенергії, кВт·год/м<sup>3</sup>, яка визначається за формулою:

$$q = P_1 / Q, \quad (9)$$

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

При відхиленні напруги змінюються постійні і змінні втрати потужності.

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

$$\Delta P_c = \Delta P_{сн} U_*^2. \quad (10)$$

Змінні втрати потужності при зміні напруги живлення асинхронного електродвигуна визначаються за формулою [3]:

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) M_\delta \omega_0 s, \quad (11)$$

де  $\Delta P_{v2}$ ,  $\Delta P_{v1}$  – 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;

$M_\delta$  – момент двигуна, Н·м;

$\omega_0$  – синхронна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>;

$s$  – ковзання двигуна.

## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

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

$$M_{cn} = K_3 M_{\omega_n}, \quad (12)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт завантаження двигуна,  
то з урахуванням (1)

$$\beta_0 U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_{cn} \omega_*^2 = K_3 \beta_0 (\omega_0 - \omega_n) \omega_*^2, \quad (13)$$

де  $\omega_n$  – номінальна кутова швидкість двигуна,  $c^{-1}$ .

Тоді

$$s = \frac{K_3 s_n \omega_*^2}{U_*^2}. \quad (14)$$

Змінні втрати потужності можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \beta_0 U_*^2 \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{\beta_0 \omega_0^2 K_3^2 s_n^2 \omega_*^4}{U_*^4}, \quad (15)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{vn} \omega_*^4 / U_*^4, \quad (16)$$

де  $\Delta P_{vn}$  – змінні втрати потужності при номінальній напрузі.

У відносних одиницях вираз (16) запишеться у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2n} + \Delta P_{cn} + \Delta P_{vn}} \cdot \frac{Q_n}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{vn} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{vn})}{P_{2n} + \Delta P_{vn} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_n}{Q}, \quad (17)$$

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

$\Delta P_{cn}$  і  $\Delta P_c$  – постійні втрати;

$\Delta P_{vn}$  і  $\Delta P_v$  – змінні втрати;

$\alpha$  – коефіцієнт втрат.

Після перетворень отримаємо

$$q_* = \eta_n Q_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + Q_*^4 / U_*^4)}{Q_*}. \quad (18)$$

Із залежності (18) випливає, що зниження напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії у вентиляційних установках, а її підвищення – невелике зниження (рис. 2).

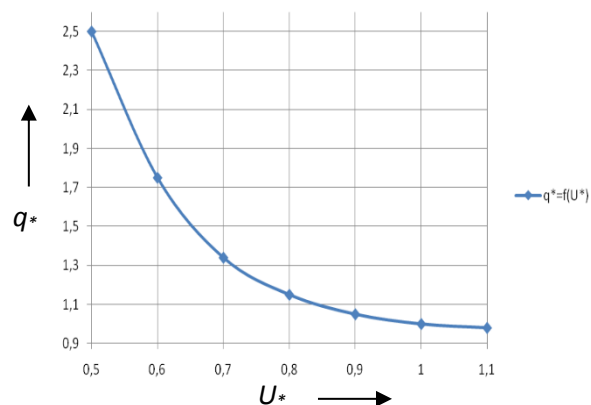


Рисунок 2 – Залежність питомої витрати електроенергії вентиляційних установок від напруги

**Висновки:** При відхиленні напруги продуктивність, тиск і потужність 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. Перова М.Б. Качество сельского электроснабжения: комплексный подход / Перова М.Б. – Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. – 72 с.
3. Електропривод і автоматизація / [Синявський О. Ю., Савченко В. В., Козирський В. В. та ін.]; за ред. О. Ю. Синявського. – К.: ФОП Ямчинський О. В., 2019. – 619 с.

#### ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

Синявский А. Ю., Савченко В. В., Трутенъ Ю. М.

**Аннотация:** Проведено исследование влияния отклонения напряжения на технологические и энергетические характеристики вентиляционных установок. Получены зависимости производительности, давления, мощности вентиляторов и удельного расхода электроэнергии от напряжения. Установлено, что при снижении напряжения на 20 % их производительность снижается до 3 %, давление - до 5 %, мощность - до 8 %, а удельный расход электроэнергии возрастает на 15 %.

**Ключевые слова:** вентиляционная установка, мощность, давление, производительность вентилятора, удельный расход электроэнергии.

## **INFLUENCE OF VOLTAGE DIFFERENCE ON TECHNOLOGICAL AND ENERGY CHARACTERISTICS OF VENTILATION PLANTS**

Sinyavsky O. Yu., Savchenko V. V., Trouten Yu. M.

**Abstract:** The effect of voltage deviation on the technological and energy characteristics of ventilation installations is investigated. Dependences of productivity, pressure, fan power and specific power consumption on voltage were obtained. It is established that with a voltage decrease of 20 % their productivity decreases to 3 %, pressure - to 5 %, capacity - to 8 %, and specific energy consumption increases by 15%.

**Keywords:** ventilation unit, power, pressure, fan performance, specific power consumption.