

ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ НАПРУГИ НА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

О. Ю. Синявський, кандидат технічних наук, доцент

В. В. Савченко, кандидат технічних наук, доцент

О. М. Пилипчук, студент магістратури

М. Н. Мельник, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: sinyavsky2008@ukr.net

Анотація. Відхилення напруги від номінального значення призводить до збитків, які мають електромагнітну і технологічну складову.

Внаслідок відхилення напруги змінюється кутова швидкість електродвигуна, що обумовлює зміну технологічних характеристик вентилятора. Проте не проводилися дослідження з впливу відхилення напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок.

Мета дослідження – встановлення впливу відхилення напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок.

При відхиленні напруги змінюються постійні і змінні втрати в асинхронному електродвигуні.

Запропоновано проводити енергетичну оцінку вентиляційної установки за питомою витратою електроенергії.

Проведено теоретичні та експериментальні дослідження впливу відхилення напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок. Отримано залежності продуктивності, потужності вентиляційної установки та питомої витрати електроенергії від напруги. Встановлено, що при зниженні напруги на 20 % продуктивність вентиляційної установки знижується до 3 %, потужність – до 8 %, а питома витрата електроенергії зростає на 15 %.

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

Актуальність. 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 електромережах України складає 15–28 % від номінального, що значно перевищує допустиме значення [2].

Внаслідок відхилення напруги змінюються енергетичні 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, тиску, моменту статичних опорів та потужності відцентрових вентиляторів від кутової швидкості [3].

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

Мета дослідження – встановлення впливу відхилення напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок.

Матеріали і методи дослідження. Аналіз зміни кутової швидкості електропривода при відхиленні напруги проведений з використанням положень теорії електропривода, які стосуються електромеханічних властивостей асинхронних електродвигунів, приводних характеристик вентиляторів та застосуванням математичного моделювання.

При експериментальних дослідженнях впливу відхилення напруги на енергетичні характеристики вентиляційних установок напругу на двигуні змінювали за допомогою автотрансформаторів, вимірюючи при цьому частоту обертання валу тахометром.

Результати досліджень та їх обговорення. Механічна характеристика електродвигуна на робочій ділянці при відхиленні напруги описується залежністю [3]:

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

де M_0 – момент двигуна, Н·м; β_0 – 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]:

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

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

Тоді в усталеному режимі роботи

$$\beta_0 U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2, \quad (3)$$

або

$$\beta_0 U_*^2 (\omega_0 - \omega_n \omega_*) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2, \quad (4)$$

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

Із (4) отримаємо:

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) \omega_*^2}{\beta_0 (\omega_0 - \omega_n \omega_*)}}. \quad (5)$$

Продуктивність вентилятора прямо пропорційна кутовій швидкості, тому закон її зміни при відхиленні напруги матиме вигляд :

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) Q_*^2}{\beta_0 (\omega_0 - \omega_n Q_*)}}. \quad (6)$$

Потужність вентилятора прямо пропорційна кубу кутової швидкості, тому

$$U_* = \sqrt{\frac{M_0 + (M_{сн} - M_0) P_*^{2/3}}{\beta_0 (\omega_0 - \omega_n \sqrt[3]{P_*})}}. \quad (7)$$

Експериментальні дослідження зміни продуктивності і потужності відцентрових вентиляторів ВЦ4-75-2,5 та ЗАВ 446 при відхиленні напруги (рис. 1) підтвердили адекватність залежностей (6), (7).

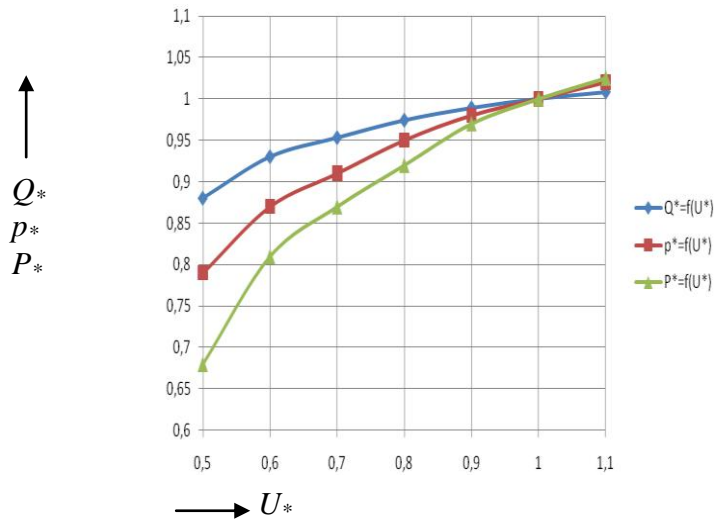


Рис. 1. Залежності продуктивності (Q), тиску (p) і потужності (P) відцентрових вентиляторів від напруги у відносних одиницях

При відхиленні напруги змінюється питома витрата електроенергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3$, яка визначається за формулою:

$$q = P_I / Q, \quad (8)$$

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

При відхиленні напруги змінюються постійні і змінні втрати потужності в електродвигуні вентилятора [4].

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

$$\Delta P_c = \Delta P_{cn} U_*^2. \quad (9)$$

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

$$\Delta P_v = \Delta P_{v2} + \Delta P_{v1} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2'}\right) M_\delta \omega_0 s, \quad (10)$$

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; s – ковзання двигуна.

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

$$M_{сн} = K_3 M_{дн}, \quad (11)$$

де K_3 – коефіцієнт завантаження двигуна,

то вираз (1) можна записати так:

$$\beta_0 U_*^2 (\omega_0 - \omega) = M_{сн} \omega_*^2 = K_3 \beta_0 (\omega_0 - \omega_n) \omega_*^2, \quad (12)$$

де ω_n – номінальна кутова швидкість двигуна, c^{-1} .

З виразу (12) отримаємо залежність ковзання двигуна від напруги:

$$s = \frac{K_3 s_n \omega_*^2}{U_*^2}. \quad (13)$$

Тоді змінні втрати потужності можна записати у вигляді:

$$\Delta P_v = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \beta_0 U_*^2 \omega_0^2 s^2 = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \frac{\beta_0 \omega_0^2 K_3^2 s_n^2 \omega_*^4}{U_*^4}, \quad (14)$$

або

$$\Delta P_v = \Delta P_{vн} \omega_*^4 / U_*^4, \quad (15)$$

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

У відносних одиницях вираз (15) запишеться у вигляді:

$$q_* = \frac{P_2 + \Delta P_c + \Delta P_v}{P_{2н} + \Delta P_{сн} + \Delta P_{вн}} \cdot \frac{Q_{н}}{Q} = \frac{P_2 + \Delta P_{вн} (\alpha + \Delta P_v / \Delta P_{вн})}{P_{2н} + \Delta P_{вн} (\alpha + 1)} \cdot \frac{Q_{н}}{Q}, \quad (16)$$

де $P_{2н}$ і P_2 – відповідно потужність на валу двигуна при номінальній і відмінній від номінальної напрузі, Вт; $\Delta P_{сн}$ і ΔP_c – постійні втрати, Вт; $\Delta P_{вн}$ і ΔP_v – змінні втрати, Вт; α – коефіцієнт втрат.

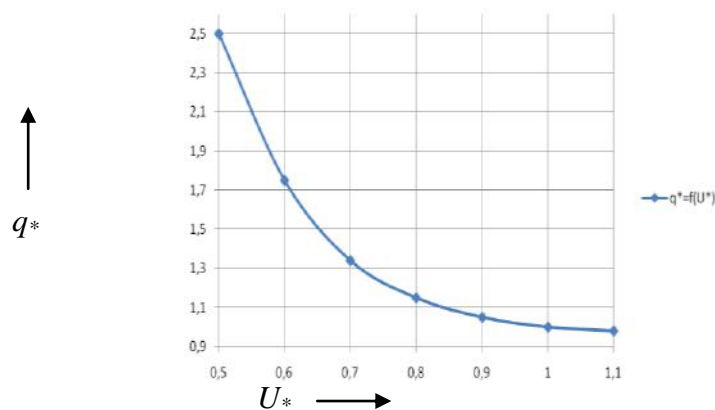


Рис. 2. Залежність питомої витрати електроенергії вентиляційних установок від напруги

Після перетворень отримаємо

$$q_* = \eta_n Q_*^2 + \frac{1 - \eta_n}{(\alpha + 1)} \cdot \frac{(\alpha U_*^2 + Q_*^4 / U_*^4)}{Q_*}. \quad (17)$$

Із залежності (17) випливає, що зниження напруги викликає зростання питомої витрати електроенергії у вентиляційних установках, а її підвищення – невелике зниження (рис. 2).

Висновки і перспективи. При відхиленні напруги продуктивність і потужність вентиляторів змінюються за складними алгоритмами. При зниженні напруги на 20 % їх продуктивність знижується до 3 %, потужність – до 8 %, а питома витрата електроенергії зростає на 15 %.

Список використаних джерел

1. Аванесов В. М., Садков Е. В. Анализ структуры потерь электрической энергии в электроустановках при отклонении напряжения от оптимального значения. Энергобезопасность в документах и фактах. 2005. №4. С. 19–21.
2. Перова М. Б. Качество сельского электроснабжения: комплексный подход. Вологда: Вологодский государственный технический университет, 1999. 72 с.
3. Синявський О. Ю., Савченко В. В., Козирський В. В. та ін. Електропривод і автоматизація. К.: ФОП Ямчинський О. В., 2019. 619 с.
4. Синявський О. Ю., Горобець В. Г. Вплив якості електроенергії на енергетику електроприводів в усталеному режимі. Науковий вісник НУБіП України. 2010. Вип. 153. С. 133 – 138.

References

1. Avanesov, V. M., Sadkov, E. V. (2005). Analiz struktury poter' elektricheskoy energii v elektroustanovkakh pri otklonenii napryazheniya ot optimal'nogo znacheniya [Analysis of the structure of electrical energy losses in electrical installations when the voltage deviates from the optimal value]. *Energobezopasnost' v dokumentakh i faktakh*, 4, 19–21.
2. Perova, M. B. (1999). *Kachestvo sel'skogo elektrosnabzheniya: kompleksnyy podkhod* [The quality of rural power supply: an integrated approach]. Vologda: Vologodskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 72.
3. Sinyavsky, A. Yu., Savchenko, V. V., Kozyrskiy V. V. (2019). *Elektropryvod i avtomatyzatsiia* [Electric drive and automation]. Kyiv: FOP Yamchynskiy O. V., 619.
4. Sinyavsky A. Yu., Horobets V. H. (2010). *Vplyv yakosti elektroenerhii na enerhetyku elektropryvodiv v ustalenomuzhymy* [The influence of electricity quality on the energy of electric drives in the steady state]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy*, 153, 133 – 138.

ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

А. Ю. Синявский, В. В. Савченко, А. М. Пилипчук, М. Н. Мельник

Аннотация. Отклонение напряжения от номинального значения приводит к убыткам, которые имеют электромагнитную и технологическую составляющую.

Вследствие отклонения напряжения изменяется угловая скорость электродвигателя, что обуславливает изменение технологических характеристик вентилятора. Однако не проводились исследования по влиянию отклонения напряжения на энергетические характеристики вентиляционных установок.

Цель исследования - установление влияния отклонения напряжения на энергетические характеристики вентиляционных установок.

При отклонении напряжения изменяются постоянные и переменные потери в асинхронном электродвигателе.

Предложено проводить энергетическую оценку вентиляционной установки по удельным расходом электроэнергии.

Проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния отклонения напряжения на энергетические характеристики вентиляционных установок. Получены зависимости производительности, мощности вентиляционной установки и удельного расхода электроэнергии от напряжения. Установлено, что при снижении напряжения на 20 % производительность вентиляционной установки снижается до 3 %, мощность - до 8 %, а удельный расход электроэнергии возрастает на 15 %.

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

INFLUENCE OF VOLTAGE DIFFERENCE ON ENERGY CHARACTERISTICS OF VENTILATION PLANTS

A. Sinyavsky, V. Savchenko, O. Pylypchuk, M. Melnyk

Abstract. Deviation of voltage from the nominal value leads to losses that have an electromagnetic and technological component.

Due to the voltage deviation, the angular velocity of the motor changes, which causes a change in the technological characteristics of the fan. However, no studies have been conducted on the effect of voltage deviation on the energy performance of ventilation systems.

The purpose of the study is to establish the effect of voltage deviation on energy characteristics of ventilation systems.

When the voltage deviates, the constant and variable losses in the asynchronous motor are change.

It is proposed to conduct an energy assessment of the ventilation unit for the specific power consumption.

Theoretical and experimental researches of influence of voltage deviation on power characteristics of ventilating installations are carried out. The dependences of productivity, power of the ventilation installation and specific consumption of electricity

on voltage are obtained. It is established that when the voltage is reduced by 20 %, the productivity of the ventilation system is reduced to 3 %, power - up to 8 %, and the specific power consumption increases by 15%.

Key words: *ventilation system, power, fan performance, specific power consumption*