

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ВЕНТИЛЯТОРІВ ТА НАСОСІВ

¹ Вінницький національний технічний університет;

Анотація

У роботі досліджено заходи підвищення енергоефективності котельні комунального підприємства «Вінницяоблтеплоенерго». Запропоновано систему частотного регулювання котлових вентиляторів на основі частотних перетворювачів та програмованого логічного контролера. Розраховано добову та річну економію електричної енергії — 10,65 кВт·год/добу та 2788,35 кВт·год/рік. Термін окупності системи становить 1,8–2,4 роки залежно від кількості встановлених частотних перетворювачів. Додатково запропоновано систему каскадного керування групою мережних насосів із частотним регулюванням ведучого агрегату, потенціал економії якої оцінюється у 20–30 % від річного споживання електроенергії насосною групою.

Ключові слова: частотний перетворювач, котловий вентилятор, мережний насос, енергоефективність, каскадне керування, закон подібності.

Abstract

The paper investigates measures to improve the energy efficiency of a boiler plant at the municipal enterprise "Vinnytsiaoblteploenergo." A frequency control system for boiler fans based on variable frequency drives and a programmable logic controller is proposed. The daily and annual electrical energy savings are calculated at 10.65 kWh/day and 2,788.35 kWh/year respectively. The payback period of the system is 1.8–2.4 years depending on the number of variable frequency drives installed. Additionally, a cascade control system for a group of distribution pumps with frequency regulation of the lead unit is proposed, with an estimated energy savings potential of 20–30% of the annual electricity consumption of the pump group.

Keywords: variable frequency drive, boiler fan, circulation pump, energy efficiency, cascade control, affinity laws.

Вступ

Основна ідея запропонованої системи полягає в тому, що частота обертання котлового вентилятора повинна бути пропорційна кількості палива, яке подається до котла в даний момент часу. Якщо подача палива зменшується (наприклад, при зниженні теплового навантаження), то кількість повітря, необхідного для його повного спалювання, також зменшується і відповідно повинна зменшуватися продуктивність вентилятора.

Система керування реалізує наступний алгоритм: сигнал від датчика витрати або положення виконавчого механізму паливоподачі (транспортера, шнека) надходить до контролера, який розраховує потрібну продуктивність вентилятора та формує завдання для частотного перетворювача. Частотний перетворювач змінює частоту живлячої напруги електродвигуна вентилятора і, таким чином, плавно регулює частоту його обертання в діапазоні від 20–30 % до 100 % від номінального значення.

Результати дослідження

Система керування котловими вентиляторами включає такі основні елементи: програмований логічний контролер (ПЛК), частотні перетворювачі для кожного вентилятора, датчики витрати палива та положення виконавчих механізмів паливоподачі, датчики температури та тиску в топці, газоаналізатор (датчик вмісту кисню O₂ в димових газах), панель оператора для відображення стану системи та налаштування параметрів.

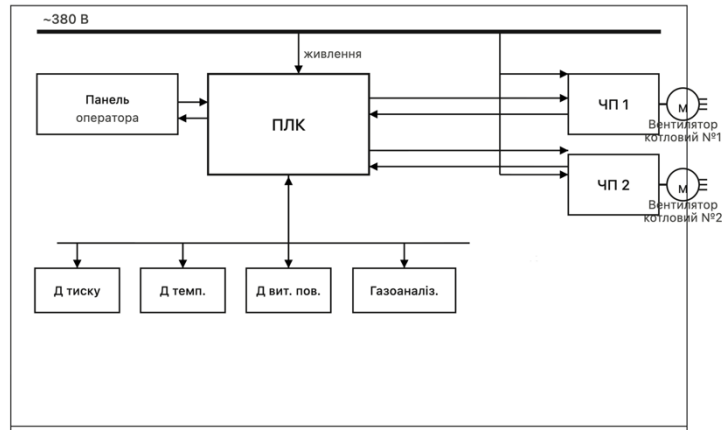


Рис. 1. Схема керування котловими вентиляторами

Такий каскадний принцип керування забезпечує одночасно два ефекти: по-перше, енергетичний - мінімізацію споживання електроенергії вентиляторами; по-друге, технологічний - підтримання оптимального процесу горіння та максимального ККД котла.

Розрахунок економії електричної енергії виконується шляхом порівняння добового споживання при традиційному регулюванні (засувкою) та при регулюванні з використанням частотного перетворювача для кожного режиму роботи вентилятора.

Споживана енергія при кожному режимі роботи визначається за формулою:

$$W = P \cdot t, \text{ (кВт}\cdot\text{год)}$$

де P - споживана потужність двигуна, кВт; t - тривалість роботи в даному режимі, год.

Добова економія електроенергії розраховується як різниця між енергоспоживанням при регулюванні засувкою та при частотному регулюванні. Розрахунок виконано для п'яти режимів роботи вентилятора з продуктивністю 100 %, 80 %, 60 %, 40 % та 20 % від номінальної. Результати розрахунку зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок добової економії електроенергії

Продуктивність вентилятора, %	Час роботи вентилятора, год	Потужність двигуна (керування засувкою), кВт		Потужність двигуна (керування ЧП), кВт		W _{зас} , кВт·год	W _{чп} , кВт·год	ΔW _{доб} , кВт·год
		кВт	%	кВт	%			
100	7	100	1,5	100	1,5	10,5	10,5	—
80	3	100	1,5	60	0,9	4,5	2,7	1,8
60	5	90	1,35	40	0,6	6,75	3,0	3,75
40	5	80	1,2	20	0,3	6,0	1,5	4,5
20	4	20	0,3	10	0,15	1,2	0,6	0,6
Разом	24	—	—	—	—	28,95	18,3	10,65

Загальна добова економія становить $\Delta W_{\text{доб}} = 28,95 - 18,30 = 10,65$ кВт·год. Річна економія за чотирма режимами роботи протягом 237 робочих днів складає $\Delta W_{\text{річ}} = 2788,35$ кВт·год, що в грошовому еквіваленті при тарифі 10 грн/кВт·год — 27 883,5 грн/рік.

Розрахунок терміну окупності: капітальні витрати для варіанта з одним частотним перетворювачем $K_1 = 14\,336 + 16\,098 + 20\,000 = 50\,434$ грн, термін окупності $T_1 = 50\,434 / 27\,883,5 \approx 1,8$ р. Для варіанта з двома частотними перетворювачами $K_2 = 66\,532$ грн, $T_2 \approx 2,4$ р.

Другим запропонованим заходом є система автоматичного каскадного керування групою мережних насосів. На котельні встановлено п'ять мережних насосів Grundfos TP 100-310/2 потужністю 15 кВт кожний (загальна встановлена потужність - 75 кВт). При традиційній схемі роботи всі або більшість насосів працюють одночасно незалежно від фактичного теплового навантаження, що призводить до марного споживання електроенергії в перехідні та міжсезонні періоди.

Запропонована система ступінчастого керування регулює кількість одночасно працюючих насосів залежно від поточного теплового навантаження: до 20 % - 1 насос; 20-40 % - 2 насоси; 40-60 % - 3 насоси; 60-80 % - 4 насоси; понад 80 % - 5 насосів. Ведучий насос обладнується частотним перетворювачем для плавного безперервного регулювання витрати між ступенями, що усуває гідравлічні удари при підключенні ведених агрегатів.

Опалювальний сезон у Вінниці триває 5500-5700 годин на рік, середнє навантаження - близько 55-65 % від максимального. Виключення одного насоса потужністю 15 кВт упродовж 3000 годин на рік забезпечує економію 45 МВт·год електроенергії. Загальний потенціал системи керування (з урахуванням ступінчастого відключення та частотного регулювання) оцінюється у 20-30 % від загального річного споживання насосної групи. Термін окупності системи не перевищує 1,5-2 роки.

Висновки

1. Впровадження системи частотного регулювання котлових вентиляторів на основі частотних перетворювачів та ПЛК забезпечує добову економію 10,65 кВт·год та річну - 2788,35 кВт·год (27 883,5 грн/рік при тарифі 10 грн/кВт·год).

2. Термін окупності системи з одним частотним перетворювачем ($K = 50\,434$ грн) становить 1,8 р., з двома ($K = 66\,532$ грн) - 2,4 р., що підтверджує її економічну доцільність.

3. Система каскадного керування групою мережних насосів із частотним регулюванням ведучого агрегату дозволяє скоротити споживання електроенергії на 20-30 %. Тільки виключення одного насоса з п'яти упродовж 3000 год/рік дає економію 45 МВт·год. Термін окупності системи - 1,5-2 роки.

4. Запропоновані заходи відповідають вимогам сучасних нормативних документів у сфері енергоефективності та дозволяють знизити питому витрату електроенергії на власні потреби котельні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Розен В. П., Соловей О. І., Чернець В. С. Підвищення енергетичної ефективності систем електроспоживання. - К.: Ліра-К, 2010. - 336 с.

2. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council on energy efficiency. Official Journal of the European Union, 2012.

Штойко Влада Максимівна — студентка 4-го курсу, гр. ЕЕ-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця; e-mail: shtoykovlada27@gmail.com

Бабенко Олексій Вікторович — канд. техн. наук, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, Вінницький національний технічний університет

Науковий керівник: *Бабенко Олексій Вікторович* — канд. техн. наук, доцент кафедри ЕСЕМ, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Shtoiko Vlada M. — 4th year student, group EE-22b, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia; e-mail: shtoykovlada27@gmail.com

Babenko Oleksii V. – Cand. Sc. (Eng), Assistan Professor of electrical power consumption and power management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, oleksij_babenko@ukr.net.

Supervisor: *Babenko Oleksiy V.* — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of ECEEM Department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.