

## **АВТОМАТИЗОВАНЕ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ – ШЛЯХ ДО ЕНЕРГООЩАДНОСТІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ**

*А.О. Семенцова, В.І. Рогожинський*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067*

*e-mail: kafatr@nuing.edu.ua*

*Розглядаються питання енергозбереження під час експлуатації вентиляційних і насосних установок, а також система автоматизованого управління енергоспоживанням на промислових підприємствах різних галузей народного господарства. Показані основні напрямки енергозбереження, в тому числі правильний вибір потужності електродвигунів, впровадження високовольтних і низьковольтних перетворювачів частоти, удосконалення існуючих і створення нових засобів контролю і вимірювання технологічних і енергетичних параметрів, створення енергозберігаючих систем електроспоживання, використання яких дасть змогу значно зменшити споживання електричної енергії.*

*Ключові слова: вентиляційна установка, насосна установка, перетворювач частоти, потужність, система стабілізації, енергопотребление, затраты, потери.*

*Рассматриваются вопросы энергосбережения при эксплуатации вентиляторных и насосных установок, а также система автоматизированного управления энергопотреблением на промышленных предприятиях разных отраслей народного хозяйства. Показаны основные направления энергосбережения, в том числе правильный выбор мощности электродвигателей, внедрение высоковольтных и низковольтных преобразователей частоты, усовершенствование существующих и создание новых средств контроля и измерения технологических и энергетических параметров, создание энергосберегающих систем электропотребления, использование которых позволит значительно снизить потребление электрической энергии.*

*Ключевые слова: вентиляционная установка, насосная установка, преобразователь частоты, мощность, система стабилизации, энергопотребление, затраты, потери.*

*The issues of energy efficiency in the operation of fan and pump installations and computer-aided energy management in industrial enterprises of different sectors of the economy. The basic directions of energy conservation, including the correct choice of electric power, the introduction of high-and low-voltage converters, improving existing and creating new tools for monitoring and measuring technology, energy parameters, the creation of energy efficient power consumption, the use of which will significantly reduce electricity consumption.*

*Keywords: fan installation, pump installation, inverter, power, stability, power consumption, costs and losses.*

Сучасний стан соціально-економічного розвитку країни характеризується значним зростанням споживання електроенергії. За останнє століття воно досягло такого рівня, що істотно впливає на глобальні світові процеси. Відомо [1], що середнє споживання енергії на одну людину у світі становить 1,9 т умовного палива. Проте у деяких країнах середнє споживання перевищує цей показник у п'ять (США) – десять (Норвегія) разів, що вимагає величезної кількості палива, запаси якого є обмеженими. Тому необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, запровадження економічних, енергоощадних технологій, визначення напрямків енергоощадності на діючих підприємствах є важливим науково-прикладним завданням.

За технологічними показниками електроенергії на даний час не має альтернативи практично у всіх галузях народного господарства, особливо для привода потужних механізмів. Перевага електричної енергії відносно інших видів енергії полягають у наступному [2]:

- можливості концентрації виробництва електроенергії і питомих витрат палива;
- можливості передавання її на значну відстань;
- можливості створення електричних машин потужністю від декількох ват до сотень кіловат для привода різних механізмів;

- можливості гнучкого автоматизованого керування з використанням безконтактних пристроїв, дистанційного керування і контролю за технологічним процесом, застосування автоматизованих систем керування;

- значних гігієнічних та позитивно-екологічних показників, що є особливо важливим в умовах захисту довкілля від негативного впливу інших видів енергії.

Досвід індустріально розвинутих країн доводить, що під час вирішення питання про спрямування капіталовкладень на збільшення виробництва електроенергії або на енергоощадність завжди отримується позитивна відповідь на користь інвестицій в енергоощадність.

Важливою передумовою енергоощадності у сфері промисловості майже всіх галузей є здоров'я палива, у тому числі і теплової енергії. Це вимагає економічного використання електроенергії на всіх ділянках промислових підприємств, у тому числі у системах вентиляції, кондиціонування, насосних установках та ін.

На даний час визначено багато напрямків енергоощадності у різних галузях народного господарства, але найбільш перспективними для систем вентиляції, нагрівання та насосних установок можна визначити чотири:

- правильний вибір потужності електродвигунів для систем вентиляції, нагрівання на-

сосних установок з врахуванням реального графіку навантаження та режиму роботи;

- розроблення і впровадження частотно-регульованих електроприводів для малих і потужних систем вентиляції, нагрівання та насосних установок;

- розроблення, виготовлення нових і вдосконалення існуючих засобів контролю та вимірювання енергетичних і технологічних параметрів систем вентиляції і нагрівання та насосних установок;

- створення системи стабілізації електроспоживання вентиляторними та насосними установками.

Перший напрямок енергоощадності – це правильний вибір потужності електродвигуна вентилятора або насоса з врахуванням його режиму роботи ( $S1, S2, S3$  та ін.) і реального графіку навантаження дасть змогу не тільки забезпечити надійну роботу електропривода, але й значно зменшити втрати потужності під час його роботи. Отже, якщо вибраний двигун для вентилятора або насоса має потужність, меншу за номінальну, тобто  $P_B < P_{ном}$  або  $P_H < P_{ном}$ , то під час роботи його з номінальним навантаженням обмотки статора двигуна будуть перегріватися, строк служби цих електродвигунів скорочується у десятки разів, а під час можливих пікових навантажень не буде забезпечуватись нормальна робота привода.

Якщо ж вибраний двигун для вентилятора або насоса має потужність, яка більша за номінальну, тобто  $P_B > P_{ном}$  або  $P_H > P_{ном}$ , то недонавантажений електродвигун споживає більше реактивної потужності, що призводить до зростання втрат у міді, зниженню ККД двигуна і  $\cos\phi$ . Тому вибрана за існуючою методикою потужність двигуна вентилятора або насоса повинна строго відповідати величині і характеру навантаження [3].

Практикою доведено [2], що доцільна заміна електродвигунів, які працюють із завантаженням 45-70%. Капітальні витрати на установку електродвигунів меншої потужності окупуються за рахунок економії електроенергії. Але у кожному конкретному випадку доцільність заміни двигунів повинна бути підтверджена розрахунком економії електроенергії як у самому електродвигуні, так і в електричних мережах.

Сумарні втрати активної потужності  $\Delta P$  для існуючого і нового електродвигуна можна визначити за формулою:

$$\Delta P = [Q_{н.х} (1 - k_3^2) + k_3^2 Q_H] \cdot k_3 + \Delta P_{н.х} + k_3^2 \Delta P_{п.з}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де:  $Q_{н.х} = \sqrt{3} U_{ном} \cdot I_{н.х} \cdot \sin\phi$  – реактивна потужність, що споживає електродвигун у режимі неробочого ходу, кВАр;

$U_{ном}$  – номінальна напруга двигуна, кВ;

$I_{н.х}$  – струм неробочого ходу двигуна, А;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження, який дорівнює відношенню реальної потужності двигуна до номінальної;

$Q_H$  – реактивна потужність двигуна при номінальному навантаженні, кВАр;

$k_3$  – коефіцієнт підвищення втрат під час перехідних режимів (приймається  $k_3=0,1 \div 0,15$ );

$\Delta P_{н.х}$  – втрати неробочого ходу двигуна, кВт;

$\Delta P_{п.з}$  – приріст втрат активної потужності при повному навантаженні, кВт

Номінальну потужність  $P_{д}$ , напругу, струм, втрати неробочого ходу, ККД електродвигуна ( $\eta_H$ ) при повному навантаженні визначаються за паспортними даними обладнання, коефіцієнт  $\cos\phi$  розраховується за результатами вимірювань  $Q_H$  і  $\Delta P_{п.з}$ , та за формулами:

$$Q_H = P_{д} \cdot \text{tg}\phi_H / [\eta_H], \text{ кВАр} \quad (2)$$

та

$$\Delta P_{п.з} = P_{д} (1 - \eta_H) / [\eta_H (1 + \gamma)], \text{ кВт}, \quad (3)$$

де  $\gamma = \Delta P_{н.х} / (1 - \eta_H \Delta P_{н.х})$ .

Зниження  $\Delta P$  (1) розраховують для існуючого електродвигуна  $\Delta P1$  і нового  $\Delta P2$ , потужність якого максимально наближена до середнього навантаження.

Якщо  $\Delta P1 - \Delta P2 > 0$ , то заміна існуючого електродвигуна на двигун меншої потужності є доцільною. У цьому випадку буде мати місце зниження втрат електроенергії  $\Delta A_e$ , що визначаються:

$$\Delta A_e (\Delta P1 - \Delta P2) \cdot t_{год}, \text{ кВт}\cdot\text{год}, \quad (4)$$

де  $t_{год}$  – середній за рік час роботи двигуна, год.

Капітальні витрати на придбання нового двигуна можна не враховувати, якщо вивільнений електродвигун буде використаний в іншому технологічному агрегаті. Якщо ні, то вартість заощадженої то вартість визначається

$$B = q_3 \cdot \Delta A_e, \text{ грн.}, \quad (5)$$

де  $q_3$  – тариф на електроенергію, що діє на даному підприємстві, грн/кВт

Величина  $B(5)$  повинна бути не більша за приведені витрати на новий двигун з врахуванням амортизації, тобто:

$$q_3 \cdot \Delta A_e \geq K_{д} (E_H + E_a), \quad (6)$$

де  $K_{д}$  – капітальні витрати на новий електродвигун.

Доцільність впровадження автоматизованих систем керування роботою електродвигунів слід вирішувати у кожному конкретному випадку. Але у всіх випадках капітальні витрати на встановлення систем автоматизації і річні витрати на її обслуговування повинні перекиватися вартістю заощадженої електроенергії, тобто

$$Z_3 \cdot \Delta A_e \geq K_{авт} \cdot E_H + H_{авт}, \quad (7)$$

де:  $Z_3$  – замикаючі витрати на електроенергію (для окремого підприємства – це тариф на електроенергію);

$K_{авт}$  – капітальні витрати на систему автоматизації;

$H_{авт}$  – річні витрати на систему автоматизації без врахування вартості електроенергії.

Зниження потужності електродвигунів, а отже, витрат електроенергії в вентиляторних і насосних установках можливо також шляхом підвищення ККД вентилятора або насоса. Ефе-

ктивним способом зниження витрати електроенергії є заміна вентиляторів і насосів старих конструкцій більш досконалими. У першу чергу заміну слід робити того обладнання, що працювало вже 15-20 років і більше. Економію електроенергії за рахунок встановлення обладнання (наприклад, насоса) з більш високим ККД можливо визначити:

$$\Delta A_{\eta} \geq 0,98H(1/\eta'_H - 1/\eta''_H) \cdot Q \cdot 1/t_p, \quad (8)$$

де:  $\eta'_H$ ,  $\eta''_H$  – ККД старого і нового насосів;

$H$  – напір, м<sup>3</sup>;

$Q$  – продуктивність насоса, м<sup>3</sup>/год;

$t_p$  – години роботи насоса на рік, год.

Другий напрямок енергоощадності – впровадження регульованих електроприводів для систем вентиляції, нагрівання та насосних установок.

За даними американської групи спеціалістів APCADVISORY три роки тому ринок регульованих електроприводів оцінювався у 2,5 млрд. доларів і зараз передбачається його зростання більше, ніж на 5,5%.

Поштовх для розвитку і впровадження регульованих електроприводів надало створення напівпровідникових пристроїв з новими характеристиками і властивостями. Використання досягнень мікропроцесорної і комп'ютерної техніки принципово змінило елементну базу, функціональні можливості і «інтелект» систем керування електроприводами.

Основною складовою автоматизованих частотно-регульованих електроприводів є перетворювачі частоти, що дозволяють змінювати частоту мережі живлення від 50 Гц і нижче, і для забезпечення переважувальної здатності одночасно змінювати напругу живлення. В Україні для приводу вентиляторних і насосних установок в різних галузях промисловості використовують як низьковольтні, так і високовольтні двигуни потужністю від 15 до 8000 кВт. Тому зрозуміло, що найбільший енерго- і ресурсощадний ефект слід очікувати під час переведення у режим частотно-регульованої швидкості вентиляторів і насосів із потужними електродвигунами.

Досвід закордонних держав свідчить, що заміна електроприводів на частотно-регульовані дає значну економію електроенергії. За даними інституту енергетики США під час реконструювання 60 енергоблоків ТЕЦ було введено понад 300 частотно-регульованих електроприводів для механізмів з електродвигунами потужністю від 630 до 4500 кВт і напругою 2400, 4160 і 6600 В. Це дало змогу отримати пряму річну економію електроенергії, яка склала 1 млрд. кВт-год на рік.

Аналогічні роботи були проведені в Росії у рамках реалізації програми енергоощадності. У системі «Мосенерго» було впроваджено 28 частотно-регульованих електроприводів для механізмів з двигунами потужністю від 500 до 4000 кВт і напругою 3300 і 6000 В. Пряма економія електричної енергії на ТЕЦ і насосно-перекачувальних станціях теплових мереж склала понад 100 млн. кВт-год на рік.

Відомо, що частотне регулювання є найбільш економічним способом плавного регулювання швидкості асинхронних двигунів дає змогу отримати великий діапазон регулювання, жорсткі механічні характеристики. Це доводить, що на будь-якій швидкості, величина ковзання мала, а, отже, малі змінні втрати потужності. До того ж при такому способі регулювання швидкості двигун працюватиме у двигунному і генераторному режимах.

Доведено [2], що 65% електроенергії в енергетиці, промисловості та інших галузях господарства споживають асинхронні електродвигуни вентиляторних і насосних установок, які працюють з незмінною швидкістю. Застосування електроприводів з регульованою швидкістю є ключем до енергоощадності, підвищення рентабельності і конкурентоспроможності підприємства, поліпшення екологічного стану Держави.

Для частотного регулювання швидкістю асинхронних двигунів застосовують високовольтні і низьковольтні перетворювачі частоти (ПЧ), причому високовольтні ПЧ почали впроваджувати у 90-х роках минулого століття. Найбільш поширеними є дволанцюгові ПЧ, тобто перетворювачі з проміжним ланцюгом постійного струму. Суть такого перетворення полягає у тому, що на першому етапі змінний струм (напруга) частотою 50 Гц перетворюється у постійний, а на другому – здійснюється інвертування, тобто постійний струм (напруга) перетворюється у змінний з одночасною зміною частоти від 50 Гц і менше. ККД таких перетворювачів досить високий і знаходиться у межах 96,5 ÷ 98,5%.

Важливе значення під час застосування ПЧ для діючих стандартних електродвигунів має їх сумісність. Слід враховувати, що за рахунок вищих гармонік у кривій струму інвертора і погіршення умов охолодження має місце збільшення додаткових втрат у двигуні і, як наслідок, зниження допустимого моменту. Тому важливим є застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Використання ШІМ під час керування інвертором ПЧ дозволяє сформувавши квазісинусоїдний струм в АД із сумарним нелінійним повторювачем 5-6%, що дає змогу отримати найбільшу ефективну електромагнітну сумісність інвертора і електродвигуна практично без розвантаження останнього. На даний час продовжується вдосконалення технічних рішень і схем низьковольтних та високовольтних перетворювачів частоти.

Третій напрямок енергоощадності передбачає вдосконалення існуючих засобів контролю і вимірювання технологічних і енергетичних параметрів та показників систем вентиляції, нагрівання і насосних установок, а також розробку та виготовлення нових. Вдосконалення існуючих засобів контролю передбачає введення відповідних корегуючих ланцюгів, що дасть змогу значно підвищити точність контролю і вимірювання основних параметрів систем. Більшість засобів контролю не мають аналогових вихідних сигналів, що гальмує їх застосу-

вання в замкнених системах автоматизованого керування наведених вище об'єктів. До того ж, деякі важливі параметри неможливо контролювати і вимірювати у зв'язку з відсутністю давачів, приладів та ін.

Отже, розроблення нових засобів контролю і вимірювання технологічних та енергетичних параметрів і показників є дуже актуальним завданням і вирішення його дасть змогу реалізувати четвертий напрямок енергоощадності, тобто побудувати енергоощадні системи споживання електроенергії вентиляторними і насосними установками.

На сучасних промислових підприємствах, адміністративно-суспільних спорудах широко застосовують системи централізованої та місцевої припливної і витяжної вентиляції, кондиціонування та обігріву. Для керування цими системами найбільшого розповсюдження набули механізми відцентрового типу, у яких статична потужність на валу змінюється приблизно пропорційно кубу швидкості, тобто механізми з вентиляторною характеристикою.

Економічна робота систем вентиляції і кондиціонування можлива тільки при змінному режимі навантаження, який визначається коливаннями температур і вологості в приміщеннях, інтенсивністю роботи технологічного обладнання та ін.

Для електропривода таких систем у більшості випадків використовують асинхронні електродвигуни з фазним ротором [2]. Простим способом регулювання продуктивності вентилятора, що застосовують на даний час, є регулювання швидкості двигуна шляхом введення в коло ротора регулюючих резисторів.

Під час регулювання швидкості механізмів з вентиляторною характеристикою потужність на валу електродвигуна дорівнює:

$$P_d = P_{d,ном} \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3, \quad (9)$$

де:  $P_d$  – потужність двигуна в реальному режимі, кВт;

$\omega$  – швидкість двигуна в реальному режимі, об/хв.;

$P_{d,ном}$  – потужність в номінальному режимі, кВт;

$\omega_{ном}$  – швидкість в номінальному режимі, об/хв.

Знайдемо електромагнітну потужність двигуна

$$P_e = \frac{P_d}{1-S} = \frac{P_d}{\omega/\omega_0}, \quad (10)$$

де:  $S$  – ковзання;

$\omega_0$  – синхронна швидкість, об/хв.

З врахуванням (9) знаходимо

$$P_e = P_{d,ном} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2. \quad (11)$$

Знехтуємо втратами потужності в сталі двигуна і механічними втратами, що справедливо з певною точністю регулювання швидкості введенням в коло ротора додаткового резис-

тора із значним опором. Тоді втрати потужності в двигуні:

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_e - P_d = \\ &= P_{d,ном} \frac{\omega_0}{\omega_{ном}} \cdot \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2 - P_{d,ном} \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^3. \end{aligned} \quad (12)$$

Максимальні втрати, які мають місце під час регулювання швидкості, можна знайти, якщо

$$\frac{d(\Delta P)}{d\omega} = 0. \quad (13)$$

Шляхом диференціювання (13) знайдемо:

$$\frac{d(\Delta P)}{d\omega} = P_{d,ном} \cdot \frac{2\omega \cdot \omega_0}{\omega_{ном}^3} - P_{d,ном} \cdot \frac{3\omega^2}{\omega_{ном}^3} = 0.$$

Тоді:  $\omega_{макс} = \frac{2}{3} \omega_0$ ;

$$\begin{aligned} \Delta P &= P_{d,ном} \cdot \frac{4\omega_0^2}{9\omega_{ном}^3} - P_{d,ном} \cdot \frac{8\omega_0^2}{27\omega_{ном}^3} = \\ &= \frac{4}{27} P_{d,ном} \cdot \frac{\omega_0}{\omega_{ном}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Отже, за значень  $\omega_{ном}$ , близьких до значення  $\omega_0$ , що характерно для асинхронних двигунів, які працюють на жорсткій частині механічної характеристики, максимальні втрати потужності в роторному колі складають майже 15% потужності на валу двигуна.

Проте, якщо регулювання продуктивності вентиляторів здійснюється засувками з електроприводом, то втрати потужності збільшуються з 15% до 38,5%, тобто в 2,5 рази [2].

Тому з метою енергоощадності систем приточної вентиляції з нагрівальною системою доцільно для регулювання продуктивних вентиляторів застосування частотно-регульованих асинхронних короткозамкнених двигунів. Це дасть змогу розробити автоматизовану систему стабілізації електроспоживання вентиляторних установок. На даний час створені надійні і економічні пристрої частотного регулювання швидкістю асинхронних електродвигунів, техніко-економічні показники яких достатньо високі.

Для регулювання швидкості електродвигуна, як правило, потрібна зміна частоти від  $f_{ном}$  до  $f_1$ , але зменшення частоти від 50Гц і нижче впливає на величину максимального моменту, тобто на переважувальну здатність двигуна.

Збереження постійної перенавантажувальної здатності, а також коефіцієнта потужності і ККД електродвигуна під час регулювання частоти  $f_1$  досягається шляхом одночасної зміни величини напруги живлення  $U_1$ , тобто треба забезпечити умову:

$$\frac{U'_1}{U_1} = \frac{f'_1}{f_1} \sqrt{\frac{M'_1}{M_1}}, \quad (15)$$

де:  $U_1, M_1$  – напруга, В; момент, Нм – коли частота  $f_1 = 50$  гЦ;

$U'_1, M'_1$  – напруга, В; момент, Нм – коли частота  $f'_1 < 50$  гЦ.

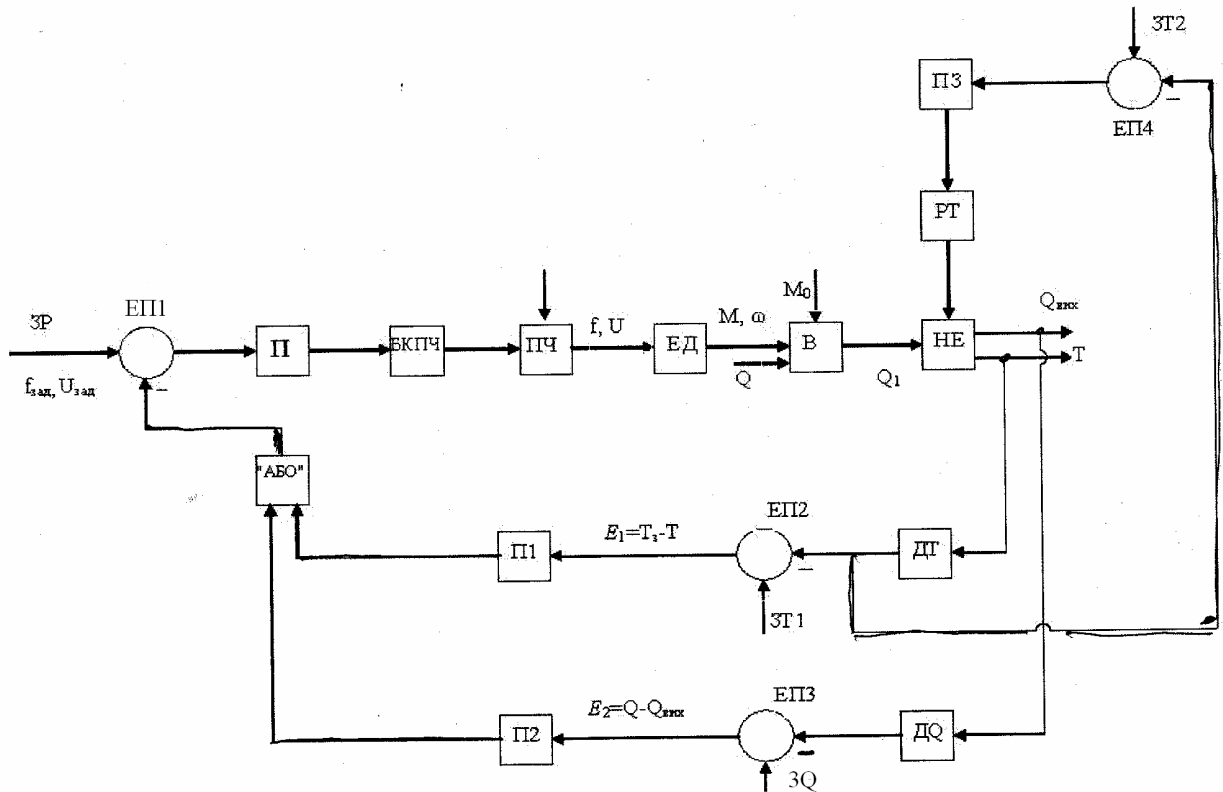


Рисунок 1 – Функціональна схема автоматизованого керування системою нагрівання повітря і вентиляції

Якщо швидкість двигуна регулюється при постійному моменту навантаження, тобто  $M'_1 = M_1 = \text{const}$ , то напруга, яка підводиться до двигуна, повинна змінюватись пропорційно зміні частоти, тобто:

$$U'_1 = U_1 \frac{f'_1}{f_1} \quad (16)$$

Виходячи з умов допустимого навантаження під час регулювання швидкості електродвигуна, коли  $M = \text{const}$ , потужність двигуна зростає пропорційно швидкості.

Для регулювання швидкості двигуна, коли постійна потужність, тобто  $P_e = M\omega_1 = \text{const}$ , момент навантаження повинен змінюватись за законом гіперболи, а напруга згідно з умовою:

$$U'_1 = U_1 \sqrt{\frac{f'_1}{f_1}} \quad (17)$$

Отже застосування частотно-регульованих електроприводів для вентиляторних установок є одним з напрямків зниження електроспоживання. Крім цього, енергоощадність цих установок може забезпечуватись:

- підвищенням ККД установок, шляхом заміни старих малопродуктивних вентиляторів на більш досконалі;
- вимкненням вентиляторних установок у перервах, на перезмінах, а для суспільних будівель – вимкненням, якщо відсутні люди;
- блокуванням роботи вентиляційних систем (у тому числі індивідуальних витяжних систем) з технологічними процесами і обладнанням, яке виключає неробочий хід вентиляторів;

– автоматизацією роботи вентиляторних установок.

Існуючі схеми керування припливних систем вентиляції забезпечують дистанційне і місцеве керування електропроводами вентиляторів, підтримання постійної температури повітря, яке подається в приміщення, захист водяних калориферів від заморожування, сигналізацію системи. Всі ці схеми є розімкнені, що знижує їх ефективність.

Пропонується триконтурна замкнена система автоматизованого керування припливної вентиляторної установки із нагрівними елементами, яка дозволяє здійснювати подачу теплого повітря з меншим споживанням електроенергії за рахунок зменшення втрат потужності в двигуні та інших елементах системи. На рис. 1 зображено функціональну схему автоматизованого керування системою нагрівання повітря і вентиляції. Вона містить: короткозамкнений двигун ЕД з перетворювачем частоти ПЧ і блоком керування БКПЧ; вентилятор В; нагрівальний елемент НЕ; регулятор температури РТ; давач продуктивності ДQ; задавачі температури ЗТ1, ЗТ2; підсилювачі П, П1, П2, П3; логічний елемент «АБО»; елементи порівняння ЕП1, ЕП2, ЕП3, ЕП4; задавач режиму ЗР; задавач продуктивності вентилятора ЗQ.

Замкнена схема автоматизованого керування працює так. Перший контур. За допомогою задавача режиму ЗР встановлюється напруга і частота перетворювача частоти ПЧ, що електрично зв'язаний з електродвигуном ЕД, на валі ротора якого знаходиться відцентровий

вентилятор В. Повітря через вентилятор проходить в елемент нагрівання НЕ, для якого за допомогою задавача температури ЗТ2 встановлюється температура НЕ. На виході елемента НЕ встановлюється давач продуктивності ДQ. Давач температури ДТ, як правило, встановлюється на виході теплого повітря, а також в приміщенні, куди подається тепле повітря. За допомогою задавачів ЗQ і ЗР встановлюється потрібна продуктивність Q вентилятора. Якщо величина  $Q_{\text{вих}}$  не відрізняється від заданого значення Q, то на виході давача Д Q сигнал відсутній. Якщо величина  $Q_{\text{вих}}$  більше або менше заданої продуктивності, то на виході давача Д Q з'являється сигнал, який порівнюється з сигналом завдання, а величини різниці через підсилювач П2 і логічний елемент «АБО» подається на елемент порівняння ЕП1, що зв'язаний з блоком керування БКПЧ. Блок керування діє на перетворювач ПЧ і змінює величину  $f$  і  $U$  таким чином, щоб продуктивність на виході вентилятора була постійною.

Другий контур замкненої системи автоматизованого керування діє тоді, коли температура, яка встановлена за допомогою задавача ЗТ1, відрізняється від дійсного значення температури повітря на виході НЕ. Отже на виході давача температури ДТ з'являється сигнал, який подається на вхід елемента порівняння ЕП2, а різниця через підсилювач П1 та логічний елемент «АБО» подається на елемент порівняння ЕП1. Далі сигнал від блоку БКПЧ діє на ПЧ, який змінює параметри таким чином, що змінюється продуктивність вентилятора.

Проте одночасно з другим контуром, коли має місце відхилення температури повітря від заданого значення, що встановлена ЗТ2 для певного приміщення, починає працювати третій контур. Тобто вихідний сигнал від ДТ подається на елемент порівняння ЕП4. Потім через підсилювач П3 на регулятор температури РТ, який змінює температуру НЕ таким чином, що температура в приміщення залишається стабільною.

## **Висновок**

Запропонована триконтурна система автоматизованого керування нагріванням повітря дає змогу зменшити втрати потужності та забезпечити стабілізацію електроспоживання.

## **Література**

1 Маліновський А.А. Основи електроенергетики та електропостачання: підручник / А.А. Маліновський, Б.К. Хохулін. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2007. – 379 с.

2 Тарнижевский М.В. Экономия энергии в электроустановках предприятий жилищно-коммунального хозяйства / М.В. Тарнижевский, Е.И. Афанасьева. – М.: Стройиздат, 1989. – 275 с.

3 Семенцова А.О. Автоматизованый электропривід в нафтогазовій промисловості: навч. посіб. / А.О.Семенцова. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2008. – 174 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
02.12.10*

*Рекомендована до друку професором  
В.С. Костишиним*