

УДК 622.323

**AUTOMATED SYSTEM OF POWER CONSUMPTION OF FAN UNITS -
THE WAY TO ENERGY EFFICIENCY OF THE ENTERPRISE**
**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВЕНТИЛЯТОРНИХ
УСТАНОВОК – ШЛЯХ ДО ЕНЕРГООЩАДНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА**

Galushchak I. / Галушчак І.Д.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

Fedoriv M./ Федорів М.Й.
c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,
15 Karpatska Str, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine.*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019*

В статті розглянуті шляхи енергоощадності в умовах технології і промислового виробництва. Представлені математичні моделі роботи електроприводу в різних режимах роботи. Визначені умови функціонування електродвигунів із різним коефіцієнтом завантаження. Визначено економічний критерій функціонування системи електрообладнання. Запропонована система автоматизованого керування нагріванням повітря та вентиляцією дозволяє зменшити втрати потужності та забезпечити стабілізацію електроспоживання.

***Ключові слова:** електропривод, система електрообладнання, режими роботи електроприводу, втрати потужності, енергоощадність.*

Вступ. Сучасний етап соціально-економічного розвитку держави характеризується значним ростом споживання електроенергії. За останнє століття воно досягло такого рівня, який істотно впливає на глобальні світові процеси. Відомо [1], що споживання енергії на одну людину у світі становить 1,9 т умовного палива (при згорянні 1кг якого, виділяється 8,12 кВт·год. енергії). Але у деяких державах ця цифра перевищує у п'ять (США) і десять (Норвегія) разів, що вимагає величезну кількість палива, запаси якого є обмеженими. Тому необхідність пошуку альтернативних джерел енергії, запровадження економічних, енергоощадних технологій, визначення напрямків енергоощадності на діючих підприємствах є важливою науково-прикладною задачею.

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

- можливості концентрації виробництва електроенергії і питомих витрат палива;
- здатності передачі її на велику відстань;
- можливості створення електричних машин потужністю від декількох ватт 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 показниках, що особливо важливо в умовах захисту довкілля від негативного впливу інших видів енергії.

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

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

- правильний вибір потужності електродвигунів для систем вентиляції, нагрівання та насосних установок з врахуванням реального графіку навантаження та режиму роботи;
- розробка і впровадження частотно-регульованих електроприводів для малих і потужних систем вентиляції і нагрівання;
- розробка, виготовлення нових і вдосконалення існуючих засобів контролю та вимірювання енергетичних і технологічних параметрів систем вентиляції і нагрівання;
- створення системи стабілізації електроспоживання вентиляторними установками.

Перший напрямок енергоощадності – це правильний вибір потужності електродвигуна і вентилятора з врахуванням цього 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, що менша за номінальну, тобто $P_B < P_{НОМ}$ або $P_H < P_{НОМ}$, то під час його роботи з номінальним навантаженням обмотки статора двигуна будуть перегріватися, термін служби цих двигунів скорочується у десятки разів, а під час можливих пікових навантажень не буде забезпечуватись нормальна робота привода.

Якщо ж вибраний двигун для вентилятора має потужність, що більша за номінальну, тобто $P_B > P_{НОМ}$ або $P_H > P_{НОМ}$, то недовантажений 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 суворо відповідати величині і характеру навантаження [2].

Наприклад, якщо вибраний двигун для режиму S3 (повторно-короткочасного) працюватиме в режимі S1 (тривалому), то збільшиться нагрів і втрати в двигуні, а отже і споживання електричної енергії.

Практикою доведено [3], що заміна електродвигунів, що працюють з завантаженням 45–70% доцільне. Капітальні затрати на установку електродвигунів меншої потужності окупуваються за рахунок економії електроенергії. Але у кожному конкретному випадку, доцільність заміни двигунів повинна бути підтверджена розрахунком економії від зниження втрат

потужності і електроенергії як у самому електродвигуні так і в електричних мережах. В результаті роботи електродвигуна в несиметричному режимі виникають наступні фактори, які негативно впливають на його енергоефективність - нерівномірне теплове навантаження, збільшення вібрації електродвигуна та зменшення його обертового моменту.

Це спричинює перегрів електродвигуна і збільшення втрат енергії, інтенсивніше зношування конструктивних елементів ЕЛБ, зокрема обертових ущільнень валу електродвигуна, зменшує його механічну швидкість і скорочує ресурс долота.

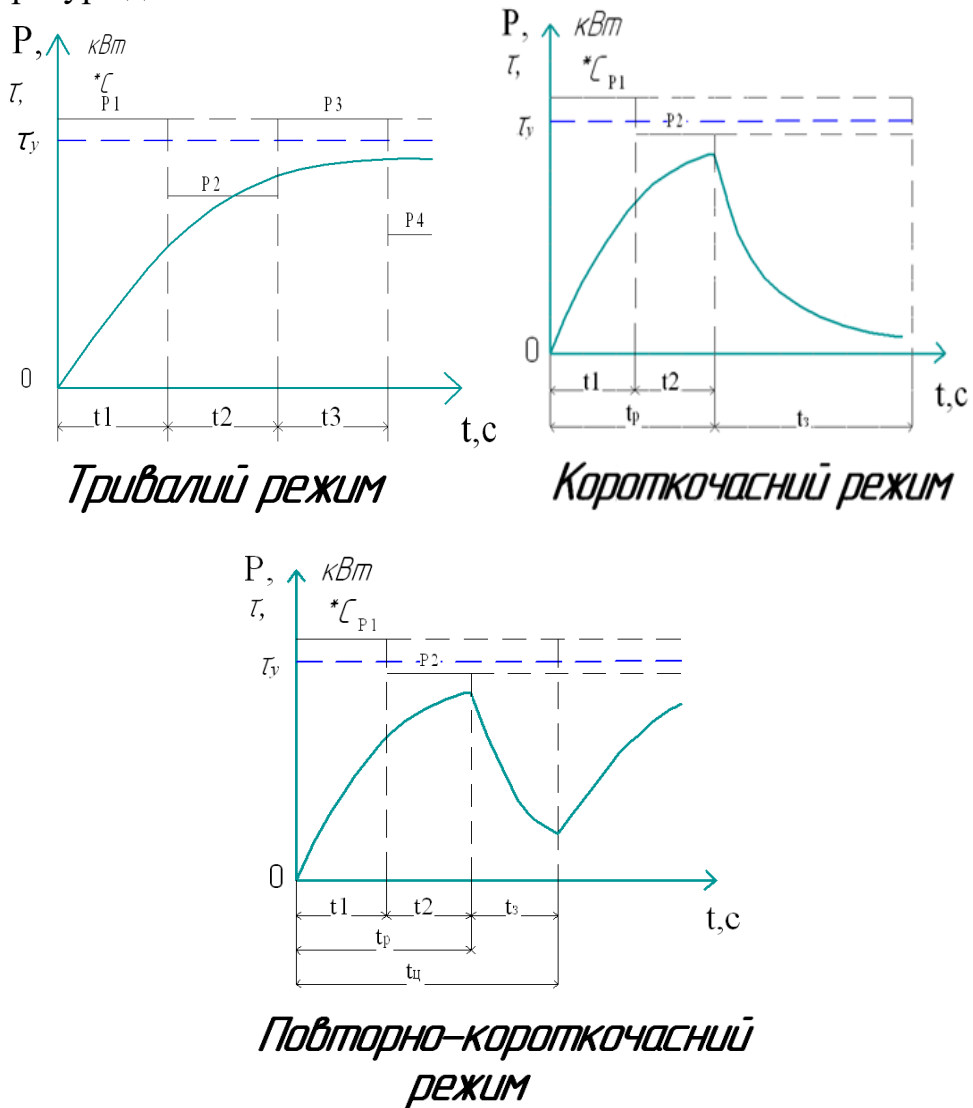


Рисунок 1 –Режими роботи електродвигунів

Сумарні втрати активної потужності ΔP для існуючого і нового електродвигуна можна визначити за формулою:

$$\Delta P = [Q_{H.X.} \cdot (1 - K_3^2) + K_3^2 \cdot Q_H] \cdot K_{EK} + \Delta P_{H.X.} + K_3^2 \cdot \Delta P_{П.З.}, \text{ кВт} \quad (1)$$

де $Q_{H.X.} = U_{НОМ} \cdot I_{H.X.} \cdot \sin \varphi$ – реактивна потужність, що споживає електродвигун у режимі неробочого ходу, кВАр;

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

$I_{H.X.}$ – струм неробочого ходу двигуна, А;

K_3 – коефіцієнт завантаження, що дорівнює відношенню реальної потужності двигуна до номінальної;

Q_H – реактивна потужність двигуна при номінальному навантаженні, кВАр;

$K_{ЕК}$ – коефіцієнт підвищення втрат під час перехідних режимів (приймається $K_{ЕК} = 0,1 \dots 0,15$);

$\Delta P_{H.X.}$ – втрати неробочого ходу двигуна, кВт;

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

Номінальну потужність P_D , напругу, струм, втрати неробочого ходу, ККД електродвигуна (η_H) при повному навантаженні визначаються за паспортними даними обладнання. Коефіцієнт $\cos\varphi_H$ розраховується за результатами вимірювань Q_H і $\Delta P_{П.З.}$ та за формулами:

$$Q_H = P_D \cdot \tan\varphi_H / \eta_H, \text{ кВАр}; \quad (2)$$

та
$$\Delta P_{П.З.} = P_D \cdot (1 - \eta_H) / [\eta_H \cdot (1 + \gamma)], \text{ кВт}, \quad (3)$$

де $\gamma = \Delta P_{H.X.} / (1 - \eta_H \cdot \Delta P_{H.X.})$.

Значення ΔP (1) розраховують для існуючого електродвигуна ΔP_1 і нового ΔP_2 , потужність якого максимально наближена до середнього навантаження.

Якщо $\Delta P_1 - \Delta P_2 > 0$, (різниця між працюючим і новим двигунами > 0) то заміна існуючого електродвигуна на двигун меншої потужності є доцільною. В цьому випадку буде мати місце зменшення втрат електроенергії ΔA_E , що визначається:

$$\Delta A_E = (\Delta P_1 - \Delta P_2) \cdot t_{ГОД.}, \text{ кВт}\cdot\text{год.}, \quad (4)$$

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

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

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

де q_E – тариф на електроенергію, що діє на даному підприємстві, грн./кВт·год.

Другий напрямок енергоощадності – це впровадження регульованих електропроводів для систем вентиляції і нагрівання.

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%.

Досвід закордонних держав показує, що заміна електроприводів на частотно-регульовані дає значну економію електроенергії. За даними інституту енергетики США під час реконструкції 60 енергоблоків ТЕЦ було введено більше ніж 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.

Доведено [2], що 65% електроенергії в енергетиці, промисловості і інших галузях господарства споживають асинхронні електродвигуни вентиляторних

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 швидкості асинхронних двигунів застосовують високовольтні і низьковольтні перетворювачі частоти (ПЧ), причому високовольтні ПЧ почали впроваджувати у 90 роках минулого століття. Найбільш поширеними є дволанцюгові ПЧ, тобто перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму. Суть такого перетворення полягає у тому, що на першому етапі змінний струм (напруга), що має частоту 50Гц , перетворюється у постійний, а на другому – здійснюється інвертування, тобто постійний струм (напруга) перетворюється у змінний з одночасною зміною частоти від 50Гц і менше. ККД таких перетворювачів досить високий і знаходиться у межах $96,5 \div 98,5\%$.

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 в двигуні, і як наслідок, зниження допустимого моменту. Тому важливим є застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

Третій напрямок енергоощадності передбачає вдосконалення існуючих засобів контролю і вимірювання технологічних і енергетичних параметрів та показників систем вентиляції та нагрівання, а також розробку та виготовлення нових. Вдосконалення існуючих засобів контролю передбачає введення відповідних корегуючи ланцюгів, що дасть змогу значно підвищити точність контролю і вимірювання основних параметрів систем. Більшість засобів контролю не мають аналогових вихідних сигналів, що гальмує їх застосування в замкнених системах автоматизованого керування вище наведених об'єктів. До того, деякі важливі параметри неможливо контролювати і вимірювати у зв'язку з відсутністю датчиків, приладів та ін.

Отже, розробка нових засобів контролю і вимірювання технологічних та енергетичних параметрів і показників є дуже актуальною задачею і вирішення її дозволить 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 обігрівів. Для керування цими системами найбільше розповсюдження отримали 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 коли змінний режим навантаження, який визначається коливаннями температур і вологості в приміщеннях, інтенсивністю роботи технологічного обладнання та ін..

Для електропривода таких систем у більшості використовують асинхронні

електродвигуни з фазним ротором [1]. Простим способом регулювання продуктивності вентилятора, що застосовують на даний час, є регулювання швидкості двигуна шляхом введення в коло ротора регулюючих резисторів, що пов'язано з великими втратами потужності в резисторі.

Тому з метою енергоощадності систем приточної вентиляції з нагрівальною системою доцільно для регулювання продуктивності вентиляторів застосування частотно-регулювальних асинхронних короткозамкнених двигунів. Це дозволить розробити автоматизовану систему стабілізації електроспоживанням вентиляторних установок. На даний час створені надійні і економічні пристрої частотного регулювання швидкістю асинхронних електродвигунів, техніко-економічні показники 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 перевантажувальну здатність.

Збереження постійної перевантажувальної 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:

$$U_1 / U_H = f_1 / f_H \cdot \sqrt{M_1 / M_H} \quad (6)$$

де U_H , – напруга, В; момент, M_H – коли частота $f_H = 50\text{Гц}$;

U_1 , – напруга, В; момент, M_H – коли частота $f_1 < 50\text{Гц}$.

Якщо швидкість двигуна регулюється при постійному моменті навантаження, тобто, то напруга, що підводиться до двигуна, повинна змінюватись пропорційно зміні частоти, тобто:

$$U_1 = U_H \cdot f_1 / f_H. \quad (7)$$

Виходячи з умов допустимого навантаження під час регулювання швидкості електродвигунів, коли $M = const$, потужність двигуна зростає пропорційно швидкості.

Для регулювання швидкості двигуна, коли постійна потужність, тобто $P_E = M \cdot \omega_1 = const$, момент навантаження повинен змінюватись за законом гіперболи, а напруга згідно умови:

$$U_1 = U_H \cdot \sqrt{M_1 / M_H}. \quad (8)$$

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 досконаліші;
- ✓ вимкнення вентиляторних установок на перервах, перезмінах, а для суспільних будівель – вимкненням якщо відсутні люди;
- ✓ блокуванням роботи вентиляційних систем (в тому числі індивідуальні витяжні системи) з технологічними процесами і обладнанням, що виключає неробочий хід вентиляторів;
- ✓ автоматизацією роботи вентиляторних установок.

Існуючі системи керування приточних систем вентиляції забезпечують дистанційне і місцеве керування електроприводами вентиляторів, підтримання постійної температури повітря, що 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 з нагрівними елементами, яка дозволяє здійснювати подачу теплого повітря з меншим споживанням електроенергії за рахунок зменшення втрат потужності в двигуні і інших елементах системи. На рис.2 подана функціональна схема автоматизованого керування системою нагрівання 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; елемент "АБО"; елементи порівняння ЕП1, ЕП2, ЕП3, ЕП4; задавач режиму ЗР; задавач продуктивності вентилятора ЗQ.

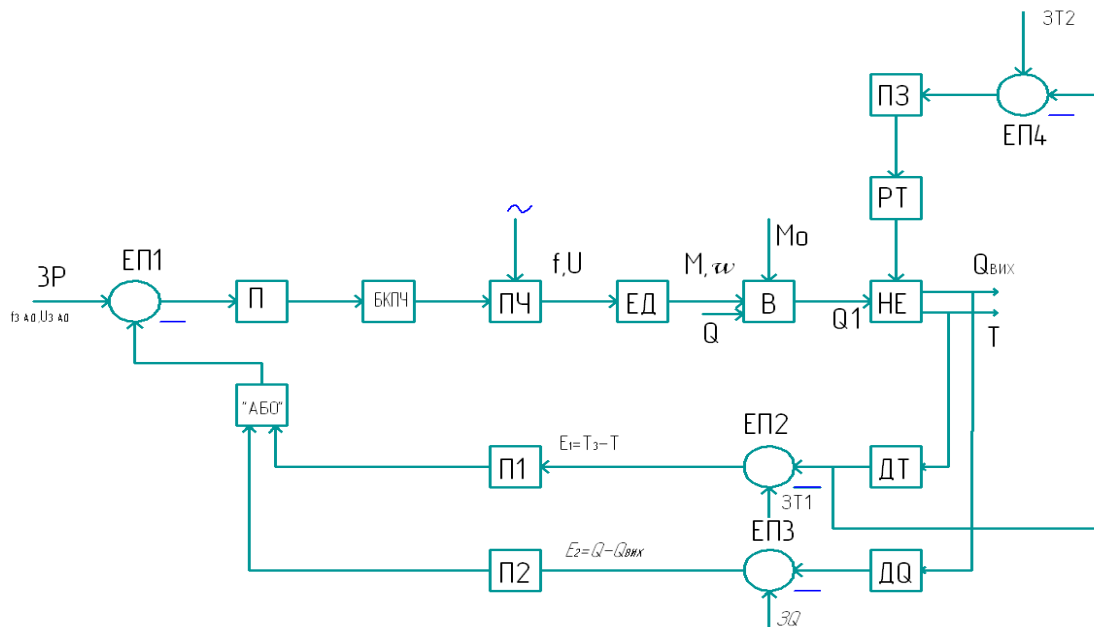


Рисунок 2 – Автоматизована система стабілізації електроспоживання вентиляторних установок

Замкнена схема автоматизованого керування та вентиляції 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 $Q_{вих}$ не відрізняється від заданого значення Q,

то на виході давача ДQ сигнал відсутній. Якщо величина Qвих більше або менше заданої продуктивності, то на виході давача ДQ з'являється сигнал, який порівнюється з сигналом завдання, а величина різниці через підсилювач П2 і елемент "АБО" подається на елемент порівняння ЕП1, що зв'язаний з блоком керування БКП4. Блок керування діє на перетворювач частоти 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, що встановлена за домогою задавача ЗТ1, відрізняється від дійсного значення температури повітря на виході НЕ. Отже на виході давача температури ДТ з'являється сигнал, що подається на вхід елемента порівняння ЕП2, а різниця через підсилювач П1 та елемент "АБО" подається на елемент порівняння ЕП1. Далі сигнал від блоку БКП4 діє на ПЧ, який змінює параметри таким чином, що змінюється продуктивність вентилятора.

Але одночасно з другим контуром при відхиленні температури повітря, що встановлена ЗТ2 для певного приміщення від заданого значення, 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 повітря приміщення залишається стабільною.

Висновки.

Підвищення енергоефективності можна досягнути шляхом реконструкції системи енергозабезпечення, правильного вибору енергооптимальних режимів роботи, реалізації енергозаощаджуючих технологій та економічно обґрунтованого вибору енергетичного обладнання у відповідності до вимог процесу.

Розроблена методологія побудови математичних моделей електроенергетичного обладнання систем електропостачання стане обов'язковою передумовою оптимізації функціонування технологічних комплексів, яка вирішує важливу наукову проблему впровадження енергоефективних технологій.

Запропонована триконтурна система автоматизованого керування нагріванням повітря та вентиляцією дозволяє зменшити втрати потужності та забезпечити стабілізацію електроспоживання.

Література

1. Лаврінченко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г., Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лаврінченка Ю.М.). – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.

2. Ильинский Н.Ф., Мокаленко В.В. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение. Учебн. пособие для студ. высш. учеб.заведений. – М.: Изд. Центр Академия, 2008. – 208 с.

3. Електронний ресурс http://www.energysavecom.ru/download/vektorn_uprav.pdf

The article considers the ways of energy saving in terms of technology and industrial production. Mathematical models of electric drive operation in different operating modes are presented. The operating conditions of electric motors with different load factors are determined. The economic criterion of functioning of the electric equipment system is determined. The proposed system of automated control of air heating and ventilation allows to reduce power losses and ensure stabilization of electricity consumption.

Keywords: *electric drive, electrical equipment system, electric drive operating modes, power losses, energy saving.*