

АЛГОРИТМ РОБОТИ КОМПЛЕКСНОГО ДАВАЧА КУТА ПОЛОЖЕННЯ, ШВИДКОСТІ І НАПРЯМКУ ОБЕРТАННЯ ДЛЯ ТИХОХІДНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

© Щур І.З., Малярчук С.О., Козій В.Б., 2005

Для побудови сучасних прецизійних систем керування рухом об'єктів з інфранизькими швидкостями створено алгоритм обробки ЕРС обертання синхронного тахогенератора. Алгоритм дає змогу отримувати поточну інформацію про величину швидкості і напрямок обертання, а також значення кута положення ротора з метою побудови безконтактного оптимального щодо втрат енергії електроприводу.

For the construction of modern precision traffic control systems of objects with infralow speeds, the algorithm for the treatment of the rotation emf of synchronous tachogenerator was developed. The algorithm allows receiving current information about the speed and direction of rotation, as well as the value of angle of rotor position with the aim of designing contactless energy efficient electric drive.

Постановка проблеми. Серед об'єктів електроприводу виділяється певний клас, перед яким ставляться дуже високі вимоги щодо точності позиціонування, слідкування, стабільності обертання з інфранизькими швидкостями значеннями в одних режимах і водночас забезпечення високих рівнів кутових швидкостей і прискорень в інших (оптичні і радіотелескопи, системи орієнтації штучних супутників Землі і космічних апаратів, системи наведення для комплексів озброєнь тощо) [1]. Найкраще поєднати вказані вимоги вдається за безредукторної реалізації механічної частини електроприводу з використанням моментних двигунів [1, 2]. Якісне регулювання швидкості таких електроприводів у діапазоні порядку 10^5 можливе лише за наявності давача швидкості, роль якого виконує тахогенератор (ТГ) з високою крутизною вихідної характеристики. Для забезпечення чутливості ТГ на інфранизьких швидкостях застосовується багато спеціальних конструктивних рішень – великий діаметр, потужні магніти, багатовиткові обмотки, виходячи з чого, розміри і вартість такого ТГ наближаються до аналогічних показників привідного моментного двигуна. До недавнього часу подібні ТГ будувалися за принципом колекторної машини постійного струму з постійними магнітами [3], причому виникали серйозні проблеми нестабільності перехідного контактної опору на низьких швидкостях. Виходячи із сучасних можливостей силової напівпровідникової техніки та вимог високої надійності вказаних об'єктів, їх електроприводи повинні бути безконтактними. Ця вимога стосується і ТГ, який в такому випадку повинен будуватися як синхронна машина з постійними магнітами. Звідси постає проблема розробки простого і надійного алгоритму обробки вихідних ЕРС обертання такого ТГ з метою отримання постійної напруги, пропорційної швидкості обертання. Враховуючи можливості роботи ТГ на інфранизьких швидкостях, з його вихідних сигналів можна також отримати інформацію і про кут положення ротора відносно полюсів статора. Ця інформація необхідна для організації безконтактного оптимального за енерговтратами керування привідним вентильним електродвигуном, що забезпечить гладкість його моменту за мінімально можливою температурою перегрівання (обмеження тепловиділення є ще однією жорсткою вимогою до електроприводу, наприклад, оптичного телескопа).

Аналіз останніх досліджень. Традиційно вихідна ЕРС обертання синхронного ТГ випрямляється і фільтрується з метою отримання постійної напруги [4, 5]. Для зменшення пульсації цієї напруги використовуються багатofазні обмотки ТГ або додаткові багатofазні трансформатори [6]. У деяких випадках як вихідний сигнал синхронного ТГ використовується не напруга, а частота [5, 6]. Проте всі

ці способи орієнтовані на високі швидкості обертання. Інформація про напрямок обертання у них стає доступною в кращому випадку лише через 90 електричних градусів. Досліджень, спрямованих на розробку тихохідних безконтактних ТГ, нами не зафіксовано.

Мета роботи. Розробка, налагодження і експериментальне дослідження алгоритму обробки вихідних ЕРС обертання тихохідного безконтактного ТГ з метою отримання надійної поточної інформації про величину кутової швидкості, напрямок обертання та значення кута положення ротора в електричних градусах.

Виклад основного матеріалу. З метою підвищення надійності отриманої інформації, вибрано трифазну конструкцію ТГ, хоча всі подальші виклади можуть бути легко застосовані і до двофазного варіанта. Під час розробки ТГ особливу увагу необхідно зосереджувати на забезпеченні фазної симетрії, полюсної ідентичності, а також синусоїдального розподілу індукції магнітного потоку в повітряному проміжку. Вихідні фазні ЕРС трифазного ТГ, який обертається з довільною швидкістю у випадку ідеальності вказаних вище чинників, що приймається як допущення для алгоритму, можна виразити так (рис. 1, а):

$$e_1 = k\Phi_m \omega \sin \varphi; \quad (1)$$

$$e_2 = k\Phi_m \omega \sin(\varphi + 120^\circ); \quad (2)$$

$$e_3 = k\Phi_m \omega \sin(\varphi + 240^\circ), \quad (3)$$

де k – конструктивний коефіцієнт ТГ; Φ_m – максимальне значення магнітного потоку в межах полюса; ω – кутова швидкість ТГ; φ – кут положення ротора в електричних градусах.

Поточні значення фазних ЕРС обертання ТГ, які описуються виразами (1)–(3), через АЦП читаються мікроконтролером, на який покладено функцію реалізації алгоритму їх обробки. Суть алгоритму полягає у визначенні φ , модуля ω , знака ω та забезпечення багатьох заходів щодо підвищення надійності отриманої інформації.

З метою простого знаходження тригонометричних функцій одного аргументу додамо та віднімемо попарно вирази (1)–(3), наприклад (рис. 1, б):

$$e_1 + e_2 = k\Phi_m \omega \sin(\varphi + 60^\circ); \quad (4)$$

$$e_1 - e_2 = \sqrt{3} k\Phi_m \omega \cos(\varphi + 60^\circ). \quad (5)$$

З (4) і (5) отримаємо

$$\varphi_{1-2} = \varphi + 60^\circ = \arctg\left(\sqrt{3} \frac{e_1 + e_2}{e_1 - e_2}\right). \quad (6)$$

Аналогічно отримують поточні значення φ_{2-3} та φ_{3-1} , часові діаграми яких за незмінної швидкості показані на рис. 1, в. Зміна напрямку обертання приведе до отримання подібних виразів, часові діаграми яких показані на рис. 1, г. Їх порівняння показує, що при зміні напрямку обертання змінюється часова тенденція отриманих значень кутів: з наростання до спадання, або навпаки. Слід зазначити, що ця зміна обов'язково проходить через стан зупинки, тобто нульової швидкості, а значить, і нульових значень фазних ЕРС. Ця особливість буде використана в роботі алгоритму. Отже, аналізуючи отримані значення φ_{1-2} , φ_{2-3} та φ_{3-1} та зіставляючи їх з поточними значеннями виміряних фазних ЕРС, можна визначити усі поставлені за мету параметри руху, наприклад:

– напрям обертання

$$\text{sign}(\omega) = \begin{cases} +, & \text{якщо } \varphi_{2-3,j} > \varphi_{2-3,j-1}; \\ -, & \text{якщо } \varphi_{2-3,j} < \varphi_{2-3,j-1}, \end{cases} \quad (7)$$

де $\varphi_{2-3,j-1}$, $\varphi_{2-3,j}$ – попереднє і поточне значення визначеного кута φ_{2-3} ;

– модуль амплітудного значення кутової швидкості

$$|\omega| = \frac{e_1}{\sin \varphi_{2-3}}; \quad (8)$$

– кут положення ротора в електричних градусах

$$\varphi = \begin{cases} \varphi_{2-3}, & \text{якщо } \text{sign}(\varphi_{2-3}) = \text{sign}(e_1) \text{ \& } e_1 > 0; \\ \varphi_{2-3} + 90^\circ, & \text{якщо } \text{sign}(\varphi_{2-3}) \neq \text{sign}(e_1); \\ \varphi_{2-3} + 270^\circ, & \text{якщо } \text{sign}(\varphi_{2-3}) = \text{sign}(e_1) \text{ \& } e_1 < 0. \end{cases} \quad (9)$$

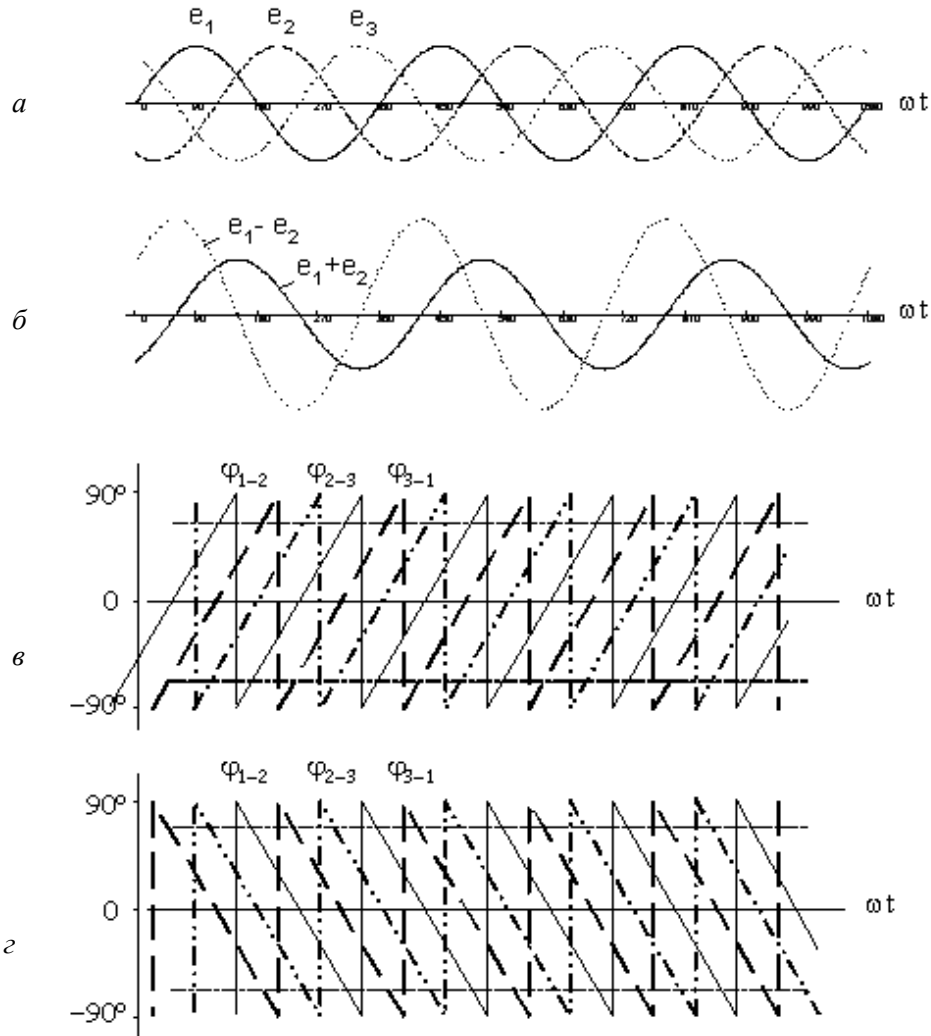


Рис. 1. Часові діаграми основних параметрів алгоритму за постійної швидкості ТГ

Блок-схема основного ядра алгоритму показана на рис. 2. Він працює в циклічному режимі із заданою високою частотою опитування і обробки.

У блоці 1 задаються початкове значення лічильника циклів j та мінімальне значення рівня опитаного сигналу ЕРС q , нижче від якого за алгоритмом робитиметься висновок про зупинку приводу. В блоці 2 здійснюється опитування вхідних портів з АЦП і зчитування фазних ЕРС обертання ТГ e_1 , e_2 та e_3 . У блоці 3 відбувається порівняння щойно виміряних трьох сигналів з числом q ; це допомагає виключити можливість прийняття випадкових завод у якомусь із каналів за сигнал нульової швидкості. Якщо порівняння у блоці 3 справджуються, то через відсутність сигналу ніякі подальші дії не проводяться і після виводу як результат у блоці 16 $\omega = 0$ проводиться повторне опитування вхідних портів. Якщо ж хоча б одне з виміряних значень e_1 , e_2 , e_3 перевищить значення q , то відбувається перехід до основної частини алгоритму. В блоці 6 знаходяться різниці виміряних ЕРС та обмежуються мінімальні значення різниць на рівні $\pm q$ з метою виключення ділення на нуль при реалізації виразів

типу (6). У блоці 7 обраховуються значення кутів φ_{1-2} , φ_{2-3} та φ_{3-1} за виразами (6). Блоки 8 і 9 здійснюють розгалуження між початковими і подальшими циклами з метою визначення напрямку обертання. При першому після початку руху циклі ($j = 1$) у блоці 10 запам'ятовуються вихідні значення кутів φ_{1-2} , φ_{2-3} та φ_{3-1} за умови, що вони знаходяться в діапазонах значень $-70^\circ \dots +70^\circ$. Це зумовлено двома причинами: по-перше, за наступного циклу не відбудеться різкої зміни кута на 180° , що має місце на рівні $\pm 90^\circ$ (рис. 2, в, г); по-друге, як показали експериментальні дослідження, в діапазоні значень $-90^\circ \dots -70^\circ$ і $70^\circ \dots +90^\circ$ є найбільш відчутними похибки обчислень, що зумовлено близькістю до нуля значень різниць вимірних фазних ЕРС (рис. 2, б). За наступного циклу ($j=2$) у блоці 12 визначаються тенденції зміни кутів φ_{1-2} , φ_{2-3} та φ_{3-1} відповідно до виразу (7). У блоці 13 ці тенденції порівнюються між собою, і у разі їх неідентичності лічильник циклів встановлюється у вихідне положення (блок 14), виводиться результат про нульову швидкість, і процедура визначення напрямку обертання починається знову. У разі ідентичності отриманих за трьома варіантами результатів про тенденції зміни кутів у блоці 15 визначається середнє значення модуля амплітуди кутової швидкості обертання за результатами трьох обчислень за виразами типу (8), а також кут положення ротора за виразом (9). У блоці 17 виводяться остаточні результати про величину і напрямок кутової швидкості і значення електричного кута положення ротора. Обчислення за наступними проходженнями циклів вже відбуватимуться швидше, оскільки спрацюватиме розгалуження “так” у блоці 8 аж до зупинки об'єкта, після якої може змінитися напрямок обертання.

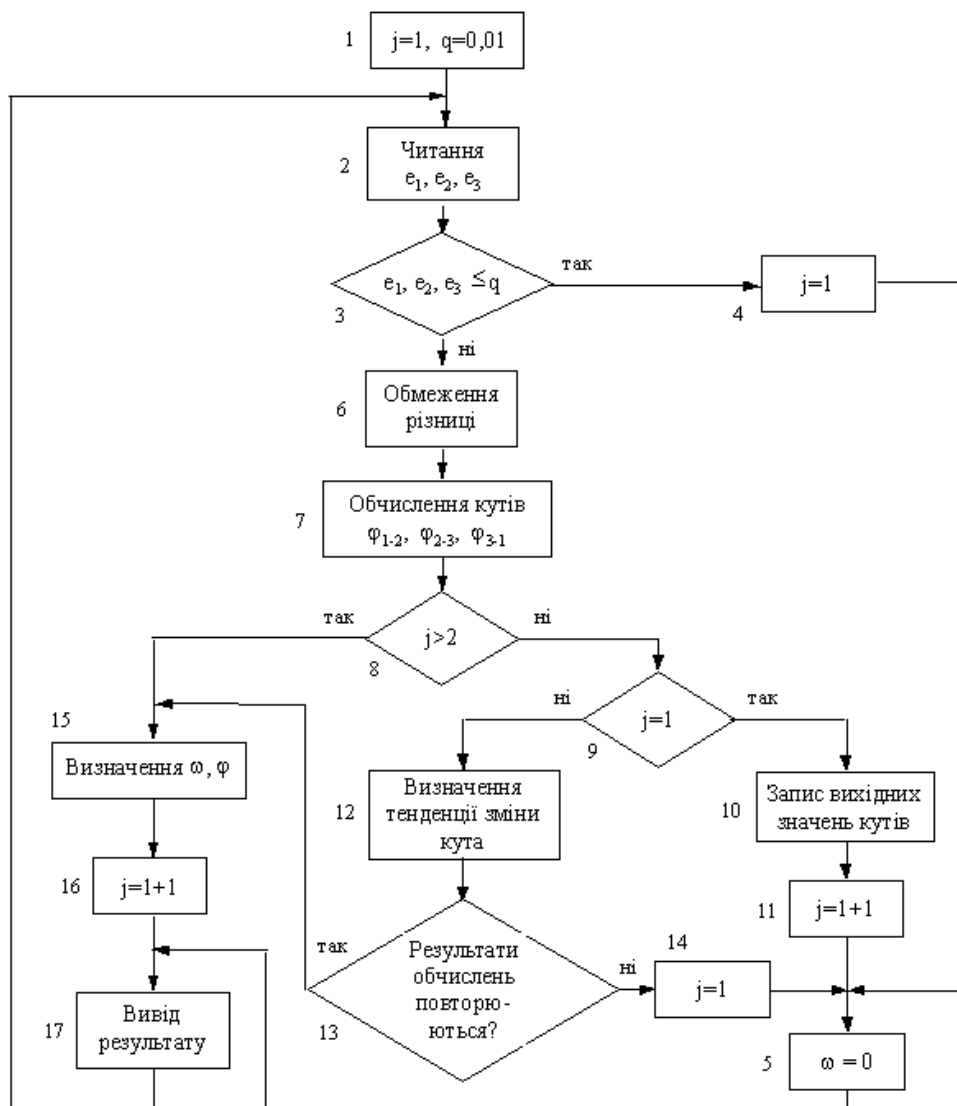


Рис. 2. Блок-схема алгоритму

Як бачимо з опису, алгоритмом передбачено багато заходів щодо підвищення завадостійкості і точності визначення результатів: застосування трифазної схеми ТГ, потрібні обчислення всіх проміжних параметрів для кожної з фаз і зіставлення результатів чи знаходження їх середніх значень.

Перевірка роботоздатності описаного алгоритму проводилася на експериментальній установці з трифазною синхронною мікромашиною, яка приводиться в рух регульованим електроприводом постійного струму. Результати вимірювань фазних ЕРС обертання через плату ЦАП-АЦП "Ада" передавались на персональний комп'ютер програмі, написаній мовою Pascal, відповідно до алгоритму, показаного на рис. 2. Після відлагодження програми алгоритм показав задовільні результати, незважаючи на порівняно високу швидкість обертання ТГ та відсутність спеціальних заходів, які б забезпечували виконання вищевказаних прийнятих допущень. Останнім, а також присутністю значних зубцевих пульсацій застосованої синхронної машини пояснюються досить великі пульсації отриманого сигналу про кутову швидкість обертання ω . Як приклад, на рис. 3 наведено записані комп'ютером осцилограми розгону і реверсу ТГ, що працює за розробленим алгоритмом.

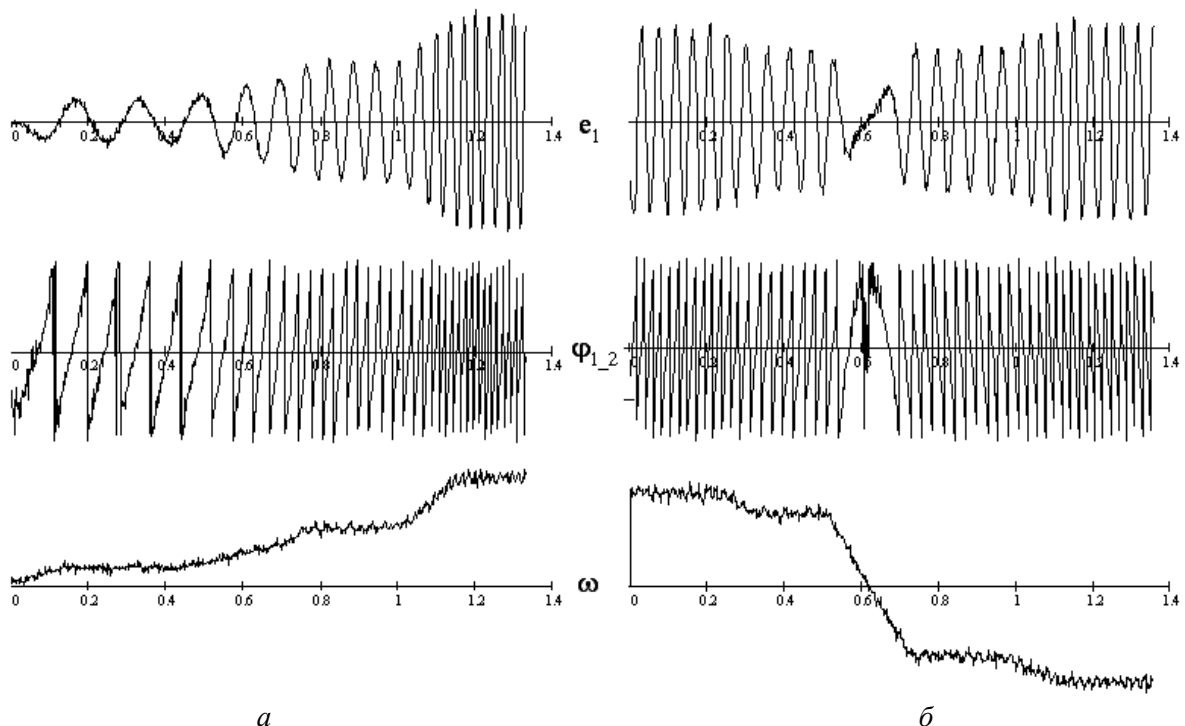


Рис. 3. Осцилограми перехідних процесів розгону (а) і реверсу (б) ТГ

Висновки. Наявність обчислювального середовища (персонального комп'ютера, мікроконтролера) дала змогу розробити порівняно простий надійний алгоритм обробки вихідних ЕРС синхронного тихохідного ТГ та отримати комплексний давач кутової швидкості, напрямку обертання та величини кута положення ротора в електричних градусах з метою створення прецизійного енергоефективного безконтактного електроприводу.

Подальші дослідження потрібно скерувати на вивчення впливу відхилень від кутової і амплітудної симетрії, синусоїдальності розподілу індукції магнітного поля в повітряному проміжку на величину похибки вимірюваної кутової швидкості.

Вирішенню також підлягає питання про визначення значення кута положення ротора в нерухомому стані ТГ з метою правильного запуску силового електронного комутатора і початку руху привідного електродвигуна в потрібному напрямку.

1. *Следящие приводы. В 3 т. / Под ред. Б.К. Чемоданова. Т. 1: Теория и проектирование следящих приводов / Е.С. Блейз, А.В. Зимин, Е.С. Иванов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1999. – 904 с. 2. Столов Л.И., Афанасьев А.Ю. Моментные двигатели постоянного тока. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 224 с. 3. Чучман Ю.И., Черепаняк М.В., Коваленко А.Е. Двигатель и тахогене-*

ратор постоянного тока инфранизких частот вращения // Преобразователи энергии и информации. – М.: ЦНИИТЭИ, 1982. 4. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств. – Л.: Энергия, 1976. – 384 с. 5. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. / Под ред. И.П. Копылова и Б.К. Клокова. Т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 688 с. 6. Тун А.Я. Системы контроля скорости электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.

УДК 620.92

П.Є. Яковчук, А.В. Пашук, М.П. Лазорик*

Національний університет “Львівська політехніка”,

кафедра ОП,

*кафедра ЕАП

ПЕРСПЕКТИВИ НЕЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДУ

© Яковчук П.Є., Пашук А.В., Лазорик М.П., 2005

Проведено аналіз ефективності використання різних типів привідних двигунів, що використовують різні типи первинних носіїв. Показано високу економічну ефективність застосування газопоршневих двигунів для приводів середньої і великої потужності.

The efficiency analysis of the use of different engines types which use different types of primary transmitters is cared out. High economic efficiency of application gas-piston engines for drive of middle and large power is shown.

Постановка проблеми. Широке використання електричних двигунів для приводу технологічних пристроїв не є завжди економічно доцільним. Існує ряд споживачів, які можна обертати поршневими двигунами з великою економічною доцільністю. Також необхідно ширше використовувати скидне тепло технологічних циклів для виробництва холоду або тепла високої температури за допомогою абсорбційних машин та теплових pomp.

Аналіз останніх досліджень. Застосування неелектричного приводу мало досить широке розповсюдження на початку ХХ століття, а з ростом електрифікації в СРСР ці технології практично зникли. Проте в країнах Західної Європи і тепер широко використовують газопоршневі двигуни. Тому останнім часом у зв'язку з ростом ціни на електроенергію знову стало доцільним вивчення питання використання різних типів неелектричних приводів.

Задачі досліджень. Існує досить широка гама різних видів неелектричного приводу, однак у цій роботі ми обмежимось розглядом ефективності використання газопоршневих двигунів та скидного тепла вихлопних газів цих двигунів. Проведемо оцінку ефективності газового приводу стосовно циркуляційних pomp котельні НУ “Львівська політехніка”.

Виклад основного тексту. Після розпаду СРСР Україна успадкувала потужну енергозатратну промисловість та комунальну сферу і неефективну систему виробництва та розподілу електричної енергії. Частка електричної енергії у загальному балансі досить мала – дещо більше 20 %, однак це найбільш прогресивна, екологічно чиста і дорога енергія. Тому, якщо основні види енергоносіїв вимірювати, скажімо в кВт год, то ціна цих енергоносіїв в умовах України буде виглядати так, як показано в таблиці.

Слід зауважити, що така система одиниць вимірювань (таблиця) дає можливість виконувати досить точні прогностичні техніко-економічні розрахунки. У той самий час класично прийнята система вимірювань, за якої газ вимірюється в 1000 м³, вугілля в тоннах, а дизельне паливо в літрах, такої можливості не дає [1]. Крім того, цифри, наведені в таблиці, не є зовсім точні через зміну цін залежно від кон'юнктури ринку і географічного знаходження споживачів.