

УДК 621.3

А.І. Котиш, доц., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук,
М.В. Кубкін, асист., В.П. Солдатенко, асист.

Кіровоградський національний технічний університет

Розрахунок ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках

Наведена методика розрахунку економії електричної енергії при впровадженні регульованого електроприводу насосних установок. В методиці враховані додаткові втрати в електродвигуні від несинусоїдальності струму живлення, а також ККД двигуна і перетворювача. Намічені напрями удосконалення методики розрахунку.

перетворювач частоти, асинхронний двигун, насос, регулювання продуктивності, напір

З ростом вартості електричної енергії стає більш актуальним питання енергозбереження взагалі та в насосних установках зокрема. Підвищити енергоефективність насосних установок можливо шляхом регулювання режиму їх роботи, адже системи водопостачання, як промислових так і побутових споживачів, характеризуються нерівномірністю добового графіка споживання води [2]. Традиційним способом регулювання подачі насосних установок є дроселювання та зміна кількості працюючих агрегатів. Зазначені способи регулювання не враховують енергетичні аспекти транспортування води. Традиційне регулювання призводить до підвищення тиску в мережі, перевитрат електроенергії, збільшення витоків та невиробничих витрат води, підвищеного зношування устаткування. Найбільш ефективним способом регулювання режиму роботи насосних установок є кількісний, тобто, зміною подачі за допомогою регульованого електроприводу. Розвиток перетворювальної техніки дозволив більш широко використовувати перетворювачі частоти для створення регульованого електроприводу в насосних установках. З метою вирішення питання впровадження частотно-регульованого електроприводу необхідний розрахунок його ефективності, який полягає у зменшенні споживання електроенергії.

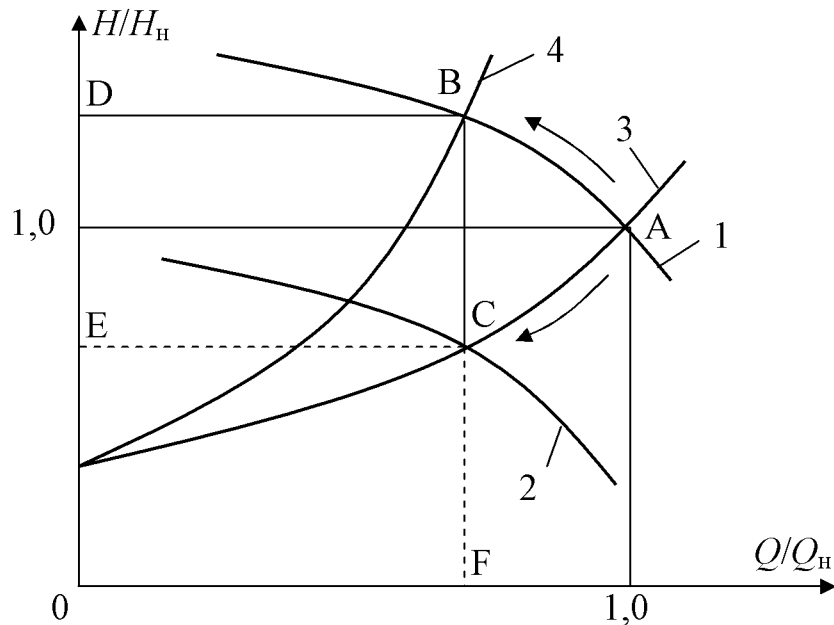
© А.І. Котиш, О.І. Сіріков, М.В. Кубкін, В.П. Солдатенко, 2012

На сьогодні існує велика кількість методик розрахунку ефективності застосування частотно-регульованого електроприводу для насосних установок [2,4,6]. Більшість з них базується на методиці наведеної в [2] та орієнтовані на розрахунок економії електроенергії від зняття надлишкового тиску в мережі. Недоліком запропонованої в [2,6] формули для розрахунку економії електроенергії є неврахування змінного графіку споживання води та відповідно змінного графіку надлишкового тиску. Отримана економія електроенергії стосується лише насосу і не враховує ККД двигуна та перетворювача частоти. Більш зручною є методика розрахунку споживання потужності наведеної в [4]. Вона дозволяє врахувати змінний графік надлишкового тиску шляхом розбиття та обчислення споживаної потужності по окремих ділянках графіка з незмінною витратою води. Недоліком цієї методики є відсутність прямої залежності ККД насосу від частоти обертання та неврахування додаткових втрат від несинусоїдальності перевереного струму.

Отже, створення методики розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках залишається актуальним та невирішеним питанням.

Метою даної роботи є розробка методики розрахунку економії електричної енергії шляхом застосування регульованого електроприводу насосних установок для оцінки ефективності його впровадження.

Можливості зниження потужності, споживаної двигуном насоса, при регулюванні швидкості електроприводу в порівнянні з регулюванням дросельною заслінкою ілюструє рис. 1 [1].



1 – характеристика насосу при номінальній швидкості двигуна; 2 – характеристика насосу при зниженій швидкості; 3 – характеристика магістралі; 4 – характеристика магістралі при регулюванні дроселем

Рисунок 1 - Порівняння способів регулювання продуктивності насосу

При номінальній витраті і напорі насос працює в точці А, що відповідає характеристиці магістралі 3 і характеристиці $Q-H$ насоса (крива 1) при номінальній швидкості двигуна. Зі зменшенням витрати при нерегульованому електроприводі за рахунок дросельного регулювання відбувається зміна опору магістралі (крива 4). Насос працює в точці В кривої 4, що призводить до зростання напору, який стає більшим від номінального. Потужність, споживана насосом, пропорційна площі прямокутника ODBF.

При використанні регульованого електроприводу за рахунок зниження швидкості насос працює при зменшенні витрати в точці С, що відповідає іншій характеристиці $Q-H$ (крива 2) при незмінній характеристиці магістралі (крива 3). Потужність, споживана електроприводом у цьому випадку, пропорційна OECF, що наочно ілюструє можливість істотного зниження енергоспоживання при впровадженні регульованих електроприводів насосів.

Напірна характеристика відцентрового насоса $H = f(Q)$, що працює з змінною частотою обертання, описується рівнянням [2]:

$$H = H_{\phi} (n^*)^2 - S_{\phi} Q^2, \quad (1)$$

де H_ϕ та S_ϕ – фіктивні параметри насоса (розраховуються або наводяться в довідниках, наприклад [3]);

n^* – відносне значення швидкості обертання

$$n^* = n_i / n_{\text{ном}},$$

де n_i та $n_{\text{ном}}$ – фактична та номінальна швидкість обертання валу насоса.

З (1) видно, що гідравлічні втрати в насосі при одній і тій же подачі не залежать від частоти обертання. Це значить, що при її зміні напірні характеристики насоса залишаються подібними один одному і тільки змінюють своє положення по вертикалі в координатах Q і H на графіку спільної роботи насоса і трубопроводу. Таким чином, робочі точки характеристики насоса при зміні його частоти обертання зміщуються.

Значення частоти обертання в кожній робочій точці при частотному регулюванні характеристик насоса [4]:

$$n_i = n_{\text{ном}} \sqrt{Q^{*2} (1 - H_n / H_\phi) + (H_n / H_\phi)}$$

або

$$n^* = \sqrt{Q^{*2} (1 - H_n / H_\phi) + (H_n / H_\phi)}, \quad (2)$$

де $Q^* = Q_i / Q_{\text{ном}}$ – відносне значення витрати насоса;

Q_i та $Q_{\text{ном}}$ – фактичне і номінальне значення витрати;

H_n – статична складова напору (різниця геодезичних висот насосної установки і споживача плюс вільний напір у споживача).

Найважливішим параметром насоса є його ККД. Зміна ККД у залежності від частоти обертання насоса визначають за допомогою формули [2]:

$$\eta_{\text{нас}} = 1 - \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{(n^*)^{0,36}}, \quad (3)$$

де $\eta_{\text{ном}}$ – значення ККД при номінальній частоті обертання насоса.

ККД насосної установки при дроселюванні можна розрахувати за формулою [5]:

$$\eta_{\text{нас}} = \eta_{\text{ном}} \frac{H_c}{H}, \quad (4)$$

де H_c – напір в трубопроводі необхідний для передачі витрати Q_i (CF рис. 1);

H – напір насоса, що створюється для передачі витрати Q_i (BF рис. 1).

Залежність між витратою рідини через трубопровід і напором, що потрібно для забезпечення цієї витрати, називається характеристикою трубопроводу й описується рівнянням

$$H_c = H_n + SQ^2, \quad (5)$$

де H_c – напір на початку трубопроводу (системи трубопроводів);

S – гідравлічний опір трубопроводу.

Потужність, що споживається насосом з валу двигуна

$$P_{\text{нас}i} = \frac{\rho g H_i Q_i}{1000 \eta_{\text{нас}}}, \quad (6)$$

де ρ – щільність рідини;

H_i та Q_i – відповідно фактичний напір та витрата рідини.

При розрахунках за (6) H_i розраховується при регулюванні засувкою ($n^*=1$) з (1), та (5) при регулюванні швидкістю обертання.

Енергія, споживана насосом за добу, розраховується по ділянках добового графіку:

$$W_{\text{сп}} = \sum P_{\text{нас}i} t_i. \quad (7)$$

Для агрегатів з частотним перетворювачем додаткові втрати обумовлені втратами в перетворювачі і деяким зниженням ККД двигуна через несинусоїдальність перетвореного струму:

$$W_B = W_{\text{сп}} \left((1 - \eta_{\text{ПР}}) + \zeta + (1 - \eta_{\text{ДВ}}) \right), \quad (8)$$

де $\zeta=0,03 \dots 0,05$ – коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок несинусоїдальності перетвореного струму;

$\eta_{\text{ПР}}$ – ККД перетворювача;

$\eta_{\text{ДВ}}$ – ККД двигуна.

При регулюванні засувкою втрати за (8) також розраховуються, при цьому враховується лише ККД двигуна ($\eta_{\text{ПР}} = 1$, $\zeta = 0$).

Енергія спожита з електромережі іде на покриття втрат і корисну роботу

$$W_M = W_{\text{сп}} + W_B. \quad (9)$$

Економія електроенергії при застосуванні регульованого електроприводу дорівнює

$$W_E = W_{M1} - W_{M2},$$

де W_E – економія енергії, одержувана за рахунок регулювання частоти обертання насоса;

W_{M1} – енергія спожита з електромережі при регулюванні засувкою;

W_{M2} – енергія спожита з електромережі при регулюванні частотою обертання.

Режим роботи групи насосів відрізняється від режиму роботи одного насоса. В рівняння, які визначають результуючу економію енергії, вводиться коригувальний коефіцієнт ϕ . Надлишковий тиск, створюваний групою насосів, менший ніж тиск, створюваний одним насосом з еквівалентною подачею, тому економія енергії менша

$$W_P = W_E \phi.$$

Значення коефіцієнта ϕ залежить від кількості робочих агрегатів табл. 1.

Таблиця 1 - Залежність коригувального коефіцієнта від кількості робочих агрегатів

Число робочих агрегатів	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

φ	1,0	0,75	0,66	0,56	0,5	0,47	0,44	0,42	0,4	0,38
-----------	-----	------	------	------	-----	------	------	------	-----	------

Висновки.

1. Аналіз методик розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках показує, що вони потребують подальшого удосконалення та узагальнення.

2. Запропоновано удосконалена методика розрахунку ефективності впровадження регульованого електроприводу в насосних установках, яка враховує змінний графік витрати води, ККД перетворювача частоти та двигуна, зміну ККД насосу при регулювання частоти обертання, додаткові втрати від несинусоїдальності перетвореного струму.

3. Серед напрямів подальшого удосконалення запропонованої методики розрахунку слід зазначити наступні:

- необхідно врахувати залежність ККД електродвигуна від частоти живлення;
- необхідно врахувати залежність ККД перетворювача від вихідної частоти;
- орієнтовне значення додаткових втрат від несинусоїдальності перетвореного струму вимагає подальшого уточнення його значення. Нез'ясованою залишається і залежність цих втрат від частоти живлення електродвигуна.

Список літератури

1. Закладний О.М. Энергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник // О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей – К: Кондор, 2005. – 408 с.
2. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках // Б.С. Лезнов – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
3. Залуцкий Э.В. Насосные станции. Курсовое проектирование // Э.В. Залуцкий, А.И. Петрухно – К.: Вища шк. Головное из-во, 1987. – 167 с.
4. Муравлева О.О. Оценка влияния энергетических характеристик асинхронного двигателя на энергосбережение насосного агрегата / О.О. Муравлева, Е.В. Вехтер, Т.В. Жарикова // Известия Томского политехнического университета/. – Т.308. № 1. – Томск: ТПУ, 2005. - С. 174-178.
5. Зимицкий В. А. Лопастные насосы: Справочник / В. А. Зимицкий, А. В. Каплун, А. Н. Папир, В. А. Умов. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отд-ние, 1986. – 334 с.
6. Закладний О.М. Оцінка енергетичної та економічної ефективності застосування регульованого електропривода в насосних установках / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Вісник НТУУ «КПІ», серія «Гірництво»: Збірник наукових праць. – Київ: НТУУ «КПІ»: ЗАТ «Техновибух», 2008. - Вип. №16. С. 90-97.

А. Котыш, А. Сириков, М. Кубкин, В. Солдатенко

Расчет эффективности внедрения регулируемого электропривода в насосных установках

Приведена методика расчета экономии электроэнергии при внедрении регулируемого электропривода насосных установок. В методике учтены дополнительные потери в электродвигателе от несинусоидальности тока питания, а также КПД двигателя и преобразователя. Намечены направления совершенствования методики расчета.

A. Kotysh, O. Sirikov, M. Kubkin, V. Soldatenko

Calculation of the efficiency of implementation of regulated electric pumping plants

The method of calculating the cost of electricity in the implementation of controlled electric pump units. In the method takes into account the additional losses in the motor from nonsinusoidal current power and coefficient of efficiency engine and converter. The directions of improving methods of calculation.

