

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗ ЧАСТОТНО-КЕРОВАНИМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НАСОСІВ

Основна увага в статті приділяється порівнянню енергетичних втрат у приводах насосів з різними видами керування. Наведений матеріал орієнтує у визначенні тих вузлів приводних систем, де найбільш вигідне застосування частотного керування.

*Ключові слова:* частотне керування електроприводом насоса, енергетичні втрати, ефективність впровадження

Основное внимание в статье уделяется сравнению энергетических потерь в приводах насосов с различными видами управления. Приведенный материал ориентирует в определении тех узлов приводных систем, где применение частотного управления наиболее выгодно.

*Ключевые слова:* частотное управление электроприводом насоса, энергетические потери, эффективность внедрения

In the article the basic attention is paid to comparison of power losses in drives of pumps with various kinds of control. The resulted material focuses in determination of those units of the drive systems where the application of a frequency control is the most advantageous.

*Keywords:* frequency control of pump electric drive, power losses, efficiency of introduction

Можливість регулювання частоти обертання короткозамкнених асинхронних електродвигунів була доведена зразу ж після їх винайдення [1]. Реалізувати цю можливість вдалося лише з появою силових напівпровідникових пристроїв. В сучасних електроприводах у всьому світі широко реалізується частотний спосіб керування асинхронною машиною, який розглядається не тільки з точки зору економії електроенергії, але й точки зору удосконалення керування технологічним процесом [2].

В Україні склалась дещо інша ситуація. Частотно-керовані електроприводи, що відповідають вимогам надійності і електромагнітної сумісності з мережами, з'явилися на українському ринку порівняно пізно. Досвід застосування тиристорних приводів сформував упереджене ставлення до використання сучасних перетворювачів частоти, а відповідно очікуваного економічного ефекту від їх впровадження частина спеціалістів виражає недовіру.

Враховуючи порівняно велику вартість на-

півпровідникових перетворювачів, що застосовуються для регулювання частоти обертання асинхронних приводів, на сьогоднішній день найбільш важливим є питання повернення коштів вкладених в їх впровадження. Тому особлива увага в статті приділяється порівнянню енергетичних втрат в приводах насосів з різними видами керування. Матеріал статті не має економічних розрахунків але орієнтує у визначенні тих вузлів приводних систем, де найбільш вигідне застосування частотного керування.

Узагальнена технологічна схема системи, що забезпечує подачу води в мережу споживача з постійним заданим тиском (рис. 1) [3]. Основними елементами схеми є запірні технологічні засувки 31 і 32, насосний агрегат Р, зворотній клапан К1, фільтр води Ф і регулювальний клапан К2. В цій схемі можна виділити і основні технологічні параметри, серед яких  $H_1$  – напір, що створюється джерелом подачі води;

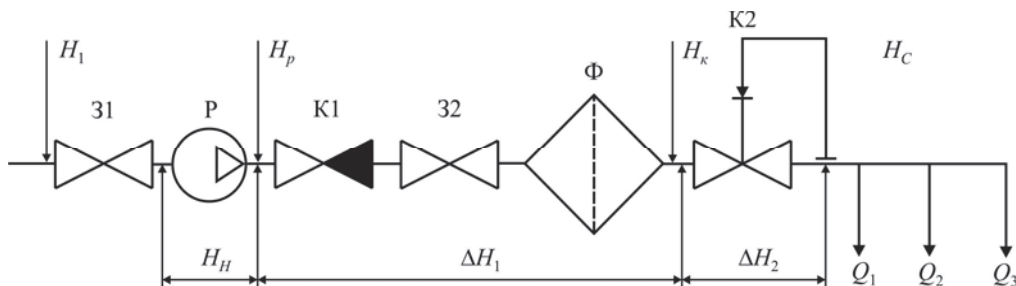


Рис. 1. Спрощена технологічна схема з насосним агрегатом

$H_p$  – напір після насосного агрегату;  $H_k$  – напір перед регулювальним клапаном;  $H_c$  – напір в мережі споживача, і  $Q_1 - Q_3$  – витрати води в мережі споживача. Крім того, можна виділити напір  $H_n$ , що розвивається насосним агрегатом, а також втрати напору на елементах системи між насосним агрегатом Р і мережею споживачів:  $\Delta H_1$  – втрати напору на елементах З2 і Ф і  $\Delta H_2$  – втрати напору на регулювальному клапані.

Розглянувши енергетичні характеристики технологічного процесу об'єкту, можна записати, що необхідна (корисна) енергія для подачі води споживачу може бути розрахована як  $W_c = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$ . Для нормальної роботи мережі частіше за все необхідно створення постійного значення напору  $H_c$ . Величини витрат  $Q_1 - Q_3$  визначаються споживачем і з часом можуть змінюватись. Гідравлічна енергія, що розвивається насосним агрегатом, може бути отримана як  $W_n = H_n \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$ , де сума витрат представляє собою загальну витрату води  $Q_c$  в мережі. В ідеальному випадку бажано, щоб зберігалась рівність між  $W_c$  і  $W_n$ . В реальній системі між насосним агрегатом і мережею встановлені елементи із своїми гідравлічними опорами, на яких втрачається частина напору  $\Delta H_e = \Delta H_1 + \Delta H_2$ . Таким чином, втрати енергії на технологічне забезпечення параметрів рідини, що перекачується можна визначити як  $\Delta W_e = \Delta H_e \cdot Q_c$ . Відповідно, для підтримання заданих технологічних параметрів мережі насос повинен розвивати гідравлічну потужність  $W_n = H_c \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3) + \Delta H_e \cdot (Q_1 + Q_2 + Q_3)$ .

Останній вираз показує, що втрати енергії в технологічному процесі залежать від витрат мережі (технологічне навантаження), які визначаються споживачем, і втратами напору на обладнанні насосної станції  $\Delta H_e$ , які в свою чергу визначаються гідравлічними опорами елементів схеми. В загальному випадку оцінити ці втрати напору можна порівнявши показання манометрів перед напірною засувкою З2 і манометра в трубопроводі мережі. Для організації технологічного процесу з мінімальними енергетичними втратами необхідно, в першу чергу, знизити втрати напору між трубопроводом насосного агрегату і мережею споживачів –  $\Delta H_e$ .

Розглянемо роботу технологічного процесу, з точки зору зміни параметрів навантаження

мережі –  $Q_c$ . Для цього скористаємось відомими  $Q-H$  характеристиками для насосних агрегатів і мережі (рис. 2) [4]. Крива 1 відповідає напірній характеристиці насосного агрегату, а крива 2 – гідравлічній характеристиці мережі, де  $H_0$  – необхідний статичний напір мережі. Точка перетину цих характеристик є ідеальною розрахунковою точкою спільної роботи насосного агрегату і мережі ( $Q_{ном}$ ). При зміні витрати в мережі змінюється і її гідравлічна характеристика – лінії 3-5. Відповідно будуть здвигатись точки перетину характеристик. Як видно з рис. 2 із зменшенням витрати збільшується тиск в мережі. Крім того, в процесі функціонування в залежності від режимів роботи системи може змінюватись тиск перед насосом. Зміни цього тиску також відображаються на величині тиску в мережі споживачів.

Такий характер взаємозв'язку параметрів потребує встановлення в системі дросельних регулюючих елементів, які створюють додатковий гідравлічний опір і дозволяють забезпечити стабільний тиск в напірній магістралі.

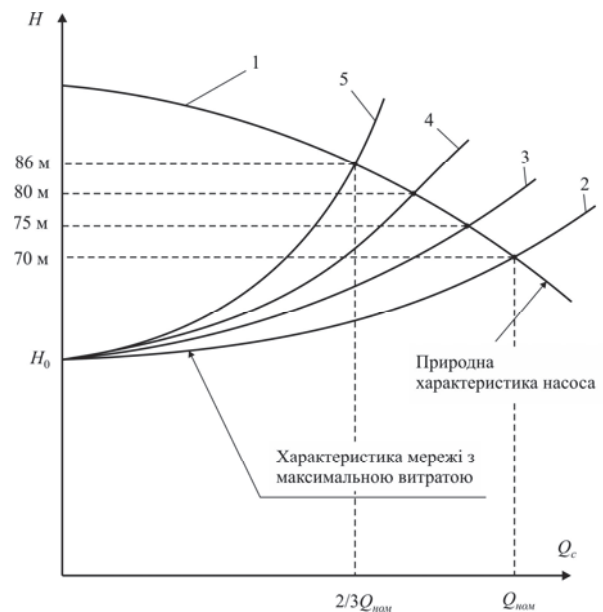


Рис. 2. Характеристики насосного агрегату і мережі без регулювання тиску

При використанні дросельних елементів перерозподіляється напір на елементах системи, як показано на рис. 3, де  $\Delta H_d$  – спад напору на дросельному елементі.

Для підтримання заданого тиску в напірній магістралі при зміні витрати рідини змінюють гідравлічний опір регулювального елемента. При цьому загальна гідравлічна характеристика буде мати більш крутий вид. Величина  $\Delta H_d$  з таким регулюванням збільшується. Таким чи-

ном, чим глибше виконується дроселювання регулюючим елементом, тим більше енергетичних втрат зазнає весь технологічний процес.

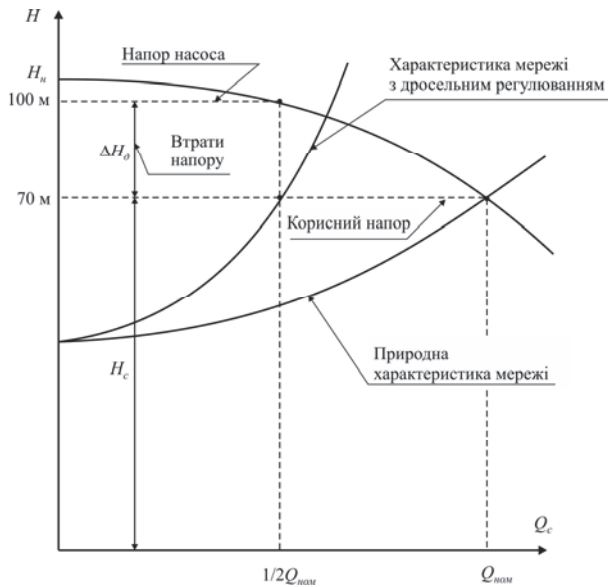


Рис. 3. Характеристики насосного агрегату і мережі з дросельним регулюванням

На величину втрат при дросельному регулюванні впливає не тільки регулюючий елемент: частіше за все на етапі проектування вибирають насосний агрегат з запасом напору, а при заміні насосних агрегатів нове обладнання може мати дещо завищені напірні характеристики. Крім того, діапазон зміни вхідного тиску (перед насосом) впливає на величину тиску за насосом. Всі ці обставини призводять до того, що втрати енергії на ході технологічного процесу є досить суттєвими і можуть досягати 45 і більше відсотків від номінальної потужності агрегату.

Для вирішення задачі мінімізації втрат, пов'язаних з регулюванням тиску в мережі, необхідно виключити додаткові гідравлічні опори на ділянці від насосного агрегату до напірної магістралі, тобто необхідно повністю відкрити всю запірну арматуру. Це можна зробити, якщо процес регулювання тиску передати насосному агрегату. Теорія роботи насосів доводить, що зміна частоти обертання привода насоса змінює його напірні характеристики. Крім того, напор, що створюється насосом, пропорційний квадрату частоти обертання агрегату.

Зміна напірних характеристик при зміні частоти обертання показана на рис. 4, на якому крива 1 відповідає номінальній напірній характеристиці, а криві 2-4 – напірним характеристикам при зниженій частоті обертання.

Якщо організувати роботу привода насосного агрегату таким чином, щоб він при зміні па-

раметрів технологічного процесу змінював частоту обертання, то в результаті можливо без істотних втрат енергії стабілізувати тиск в мережі. При такому способі регулювання виключаються втрати напору, а відповідно, і втрати гідравлічної енергії.

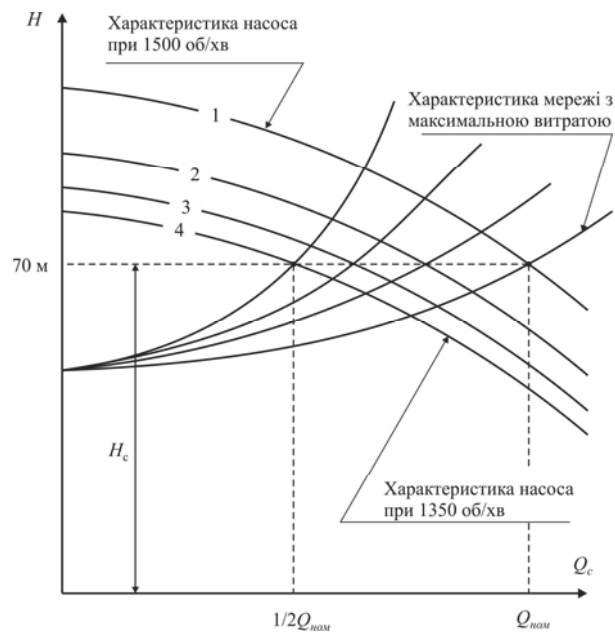


Рис. 4. Характеристики насосного агрегату і мережі з частотним регулюванням

Спосіб регулювання тиску в мережі шляхом зміни частоти обертання привода насосного агрегату знижує енергоспоживання також і по іншій причині. Насос як пристрій перетворення має свій коефіцієнт корисної дії. Характер зміни ККД насоса в залежності від витрати рідини при різних частотах обертання наведено на рис. 5.

У відповідності з теорією подібності максимум ККД із зменшенням частоти обертання дещо знижується і зміщується вліво. Якщо розглянути роботу агрегату для витрати менше від номінальної (вертикальні лінії А і В), то для цих режимів раціонально працювати на зниженій частоті обертання. В цьому випадку ККД насоса вище ніж при роботі на номінальній частоті обертання. Таким чином, зниження частоти обертання у відповідності з технологічним навантаженням дозволяє не тільки заощаджувати електричну енергію на виключення гідравлічних втрат, а також отримати економічний ефект за рахунок підвищення ККД самого насоса.

Використання частотного керування приводами дозволяє суттєво зменшити і експлуатаційні витрати, що пов'язані з обслуговуванням агрегатів і систем.

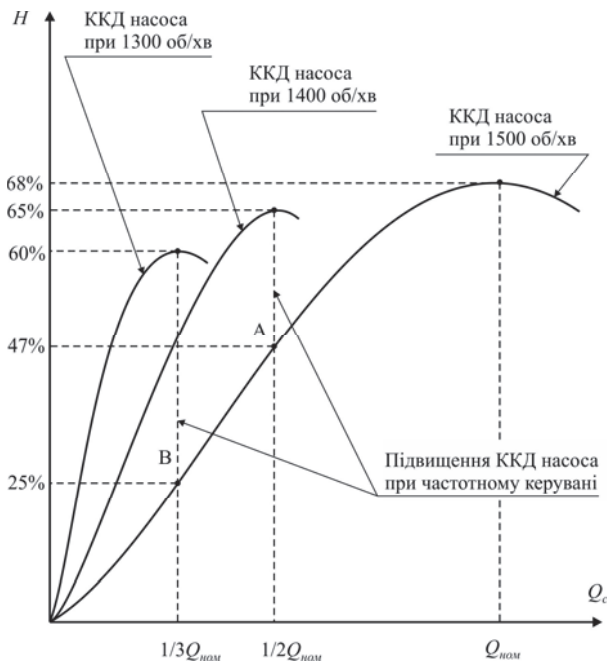


Рис. 5. Зміна ККД насосного агрегату з частотним регулюванням при зміні продуктивності

Практика використання частотних перетворювачів для керування насосами і вентиляторами доводить доцільність не просто включення перетворювача для керування агрегатом, а створення спеціалізованих систем керування технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє отримати економічний ефект не тільки від зниження споживаної потужності з електричної мережі, а й досягти суттєвого зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці і збільшення терміну експлуатації обладнання. Сучасні перетворювачі дозволяють отримувати більше 20 параметрів стану електропривода. Відповідне опрацювання цих параметрів дозволяє проводити глибоке діагностування як обладнання системи, так і процесів, що протікають. З'являється можливість не тільки реагувати на аварію, а й попереджувати її виникнення, що для енергетичних об'єктів значно важливіше.

Підбиваючи підсумки, можна зробити наступні **висновки**.

Використання частотно-регульованих приводів для насосів і вентиляторів в технологічних процесах дозволяє знизити енергоспоживання технологічним обладнанням. Перед початком впровадження рекомендується провести техніко-економічне обґрунтування, що дозволить визначити не тільки термін окупності від впровадження але й правильно організувати технологічний процес з урахуванням можливостей приводів з частотним регулюванням. Доцільно використовувати перетворювачі частоти не в якості елементів системи керування конкретного агрегату, а як складових комплексних системних рішень з підключенням широкого набору засобів автоматизації технологічного процесу. Такі рішення дозволяють отримати додатковий ефект, який заздалегідь більше від простої економії електричної енергії.

#### БІБЛЮГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Москаленко, В. В. Электрический привод [Текст] / В. В. Москаленко. – М.: Академия, 2007. – 362 с.
2. Holzenberger, K. Изложение о центробежных насосах [Текст] : техн. доклад KSB (1999) / K. Holzenberger. – 4-е изд., перераб. и расш. – Франкенталь (Пфальц): KSB-CKR, 2001. – 110 с.
3. Якубчик, П. П. Насосы и насосные станции [Текст] : учеб. пособие / П. П. Якубчик. – СПб.: ПГУПС, 1997. – 108 с.
4. Малюшенко, В. А. Энергетические насосы [Текст] : справ. пособие / В. А. Малюшенко, А. К. Михайлов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.

Надійшла до редколегії 25.01.2011.

Прийнята до друку 28.01.2011.