

НАПРЯМКИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАСОСНИХ УСТАНОВКАХ

(Представлено д.т.н., проф. Поповичем М.Г.)

Розглянуто способи регулювання технологічними параметрами насосних установок. Проаналізовано технічні рішення систем автоматичного керування, які забезпечують енергозбереження в системах водопостачання.

Постановка проблеми. Важливим критерієм впровадження сучасних технологій є застосування енергозбереження. Насосні установки належать до потужних споживачів, які потребують вдосконалення якості використання електричної енергії. Витрата на перекачування чистих і стічних вод з урахуванням оборотного водопостачання оцінюється в сотнях млрд. кВт год. електроенергії на рік. Досвід застосування регульованого електропривода показує, що витрати енергії можуть бути знижені на 5–15 %, а в окремих випадках – на 20–25 %. Широке впровадження таких систем дозволить заощадити десятки млрд. кВт год. енергії на рік.

Мета дослідження. Розвиток сучасних систем керування насосними установками має особливості, пов'язані з дослідженнями в технологічному аспекті та технічними рішеннями в галузі керування. Метою даної роботи є систематизація існуючих розробок та визначення перспективних напрямків енергозбереження.

Основна частина. Втрати енергії в технологічному процесі залежать від витрат мережі (технологічного навантаження), обумовленого споживачем, і витрат напору на обладнанні насосної станції, які визначаються гідравлічним опором елементів схеми. Для організації технологічного процесу з мінімальними енергетичними втратами необхідно у першу чергу знизити втрати напору між трубопроводом насосного агрегату й мережею споживачів [22].

Спільна робота насосної установки й мережі трубопроводів можлива в тому випадку, якщо подача насоса дорівнює витраті в мережі, а напір, що розвиває насос, дорівнює втратам напору в системі й статичній висоті підйому рідини [4].

Дроселювання, хоча й не є оптимальним способом регулювання за енерговитратами, але перешкоджає поширенню підвищеного тиску в мережі та зменшує витік і непродуктивні витрати води. Для дроселювання доцільно застосовувати дросельні затвори з ручним чи електромеханічним (гідравлічним, пневматичним) виконавчим органом, а не засувки, що є запірними пристроями і не призначені для регулювання [23]. Дроселювання можливе тільки в тому випадку, коли існує деяке перевищення напору. В межах цього перевищення допускається дроселювання [4].

Потужність, що споживатиметься насосним агрегатом при дроселюванні, буде перевищувати розрахункове значення.

Для усунення роботи насоса в режимі малих подач попередження нестійкого режиму застосовують перепускання частини рідини з напірної лінії у всмоктувальну через паралельний водопровід (байпасування) [7]. При цьому робоча точка зміщується вниз, мережа одночасно отримує зменшені напір та подачу.

Кількість витраченої енергії насосною установкою буде мінімальна, якщо геометричним місцем робочих точок буде характеристика водопроводу, а не характеристика насосів [4].

Використання обточування робочого колеса насоса у разі гарантованого тривалого існування розрахункового режиму дозволяє покращити характеристики установки [4].

Керування продуктивністю насоса можливе зміною кута повороту робочих лопаток або лопаток напрямного апарата [4]. Поворот лопаток змінює нахил напірних характеристик насоса, завдяки чому зміна подачі насоса відбувається без перевищення напору.

Використовується також спосіб регулювання відцентрових насосів шляхом впуску повітря в усмоктувальну лінію насоса, що не перевищує 10–14 % подачі насоса [4]. Впуск повітря змінює положення напірної характеристики насоса. Введення 10 % повітря аналогічне за своїм ефектом зниженню частоти обертання насоса приблизно на 12 %. ККД насоса при цьому змінюється незначно.

Найефективнішим способом регулювання насосною установкою вважається зміна частоти обертання робочого колеса насоса, що забезпечує підтримання робочих параметрів у необхідному діапазоні [14].

Для визначення параметрів при відхиленні дійсного значення швидкості обертання насоса ω від номінального ω_H використовують залежності [4]:

$$Q = Q_H \frac{\omega}{\omega_H}; \quad (1)$$

$$H = H_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2; \quad (2)$$

$$M = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2; \quad (3)$$

$$N = N_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^3, \quad (4)$$

де Q_H – номінальна продуктивність, H_H – номінальний напір, M_H – номінальний момент, N_H – номінальна потужність насосного агрегату.

Регулювання частоти обертання насоса перешкоджає поширенню підвищеного тиску та зменшує споживання потужності насосної установки аналогічно обточуванню робочого колеса насоса.

ККД насосного агрегату η_2 при забезпеченні необхідної продуктивності Q_H буде вищим (рис. 1) з частотою обертання ω_2 ($\omega_2 < \omega_1$).

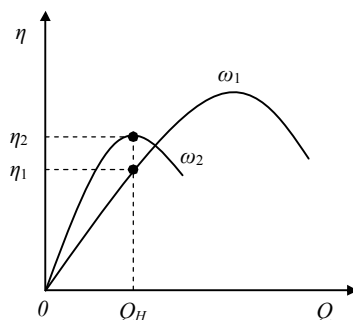


Рис. 1. Графіки ККД насосного агрегату

Для запровадження певного рівня енергозбереження використовують регулювання кількості одночасно включених насосів. При послідовному з'єднанні регулюється зміна напору, при паралельному – змінюється продуктивність. Насоси можуть бути обладнані регульованими електроприводами [7].

Регулювання частоти обертання насосів вимагає застосування спеціальних видів електропривода: з втратами енергії ковзання (з реостатом у колі ротора, з гідравлічними або електромагнітними муфтами ковзання), привода з рекуперацією енергії ковзання (асинхронно-вентильні каскади) [14].

Більш раціональним є використання електроприводів, що працюють без втрат енергії ковзання: частотних, вентильних, з багатошвидкісними електродвигунами.

Втрати потужності ковзання в електроприводах суттєво залежать від механічної характеристики насоса і частоти обертання.

Втрати потужності ковзання у відносних одиницях:

$$P'_{\text{ковз}} = (1 - \omega')(\omega')^k, \quad (5)$$

де $\omega' = \frac{\omega}{\omega_H}$ відносна частота обертання; k – показник степеня в механічній характеристиці насоса.

Великого поширення на даний час для насосів набувають електроприводи по системі перетворювач частоти–асинхронний (синхронний) двигун. Сучасні перетворювачі частоти, окрім регулювання параметрів напруги живлення двигунів, надають можливість замкненого регулювання технологічних параметрів насоса та формування "насосних" ($\frac{U}{f^2} = \text{const}$) механічних характеристик, які сприяють плавності пуску насосів [12].

У випадку високих потужностей насосних установок застосовують високовольтні перетворювачі частоти, які можуть бути реалізовані на базі двотрансформаторної схеми або за рахунок послідовного з'єднання напівпровідникових приладів. При використанні машин подвійного живлення статорна обмотка приєднується до високовольтної мережі безпосередньо, а роторна – до низьковольтної через перетворювач частоти [6].

При роботі паралельно працюючих насосних агрегатів, один із яких оснащений регульованим приводом, процес регулювання продуктивності здійснюється зміною частоти обертання регульованого агрегату та періодичним вмиканням і вимиканням нерегульованого насоса [4].

Для уникнення гідродару в момент підключення нерегульованого насоса сигнал датчика тиску блокується, а частота обертання регульованого насоса примусово зменшується [21]. Через певний час

після пуску нерегульованого насоса блокування сигналу датчика тиску знімається, регульований насос виходить на частоту обертання, при якій напір установки дорівнює необхідному.

При здійсненні прямого пуску електродвигуна від мережі виникає кидок струму, величина якого може багаторазово перевищувати номінальне значення струму електродвигуна. Вплив такого ударного навантаження на провідники лобових частин обмотки електродвигуна призводить до механічного руйнування ізоляції, міжвиткових коротких замикань. Тривалість такого впливу при пуску електродвигуна залежить від моменту опору на його валу й при частих і важких пусках призводить до перевищення припустимого рівня температури обмоток, зниженню електричної міцності ізоляції. Крім того, ударне механічне навантаження на електродвигун, насосний агрегат при прямому пуску призводить до збільшення зазорів у механічних з'єднаннях між двигуном і механізмом, передчасного зношування муфт, редукторів, підшипників.

Виходом із становища є обладнання приводу нерегульованого насоса пристроєм плавного пуску [1]. Сприяє сповільненню зростання тиску в процесі пуску нерегульованого агрегату застосування в системі гідропневматичного бака [3].

Замість розсіювання кінетичної енергії руху води її можна використовувати для приводу гідротурбін, до яких приєднуються електрогенератори.

Аналіз режимів роботи турбомеханізмів показав, що при груповому характері навантаження діапазон регулювання частоти обертання регульованого насоса складає 7–10 % від номінальної швидкості, а при збільшенні кількості одночасно включених агрегатів – зростає до 3 %. [9, 10, 11]. Можлива реалізація регулювання технологічними параметрами за допомогою активного впливу на комунікації. Залежно від технологічних особливостей функціонування розглядаються схеми регулювання продуктивності насосних установок за допомогою гідравлічної турбіни:

- гідравлічну турбіну розміщують паралельно насосу і вихідній засувці при використанні осьового насоса з базовим способом регулювання перепуском рідини через байпасний водопровід;

- гідравлічну турбіну розміщують паралельно вихідній засувці насосного агрегату при використанні відцентрового насоса на станціях із базовим способом регулювання дроселюванням.

Згідно з положеннями теорії автоматичного керування в системах водопостачання можна виділити такі групи: системи стабілізації, програмного керування та екстремальні.

При побудові систем автоматичного керування як регульований параметр використовують тиск у диктуючій точці мережі, а в окремих випадках – на колекторі насосної станції. Останнє, можливо, коли станція розташована поблизу споживачів, наприклад станція підкачування міського (промислового) водопостачання, або коли розрахунками чи експериментами встановлена відповідність між змінами тиску в напірному колекторі й диктуючій точці [5].

Тиск у системі холодного й гарячого водопостачання повинен відповідати максимальній висоті будинків. Датчик тиску можна встановити на виході системи водопостачання (краще гарячого) із розрахунком, що на кожен метр висоти необхідно створити надлишковий тиск 0,1 атм [22].

Для насоса, що працює із сталою частотою обертання, необхідний напір буде підтримуватись у режимі максимальної подачі. В інших випадках, коли насос працює з пониженою подачею, система працює з підвищеним напором [4].

Система автоматичного керування (рис. 2) забезпечує роботу насосної установки без перевищення напору при всіх значеннях водоспоживання [4].

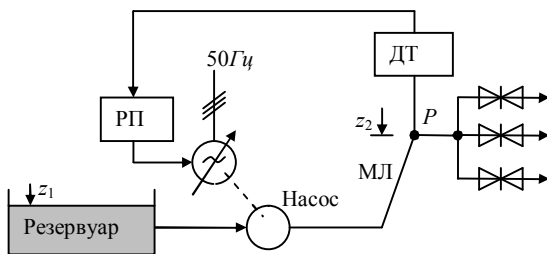


Рис. 2. Технологічна схема насосної установки із стабілізацією напору в диктуючій точці мережі

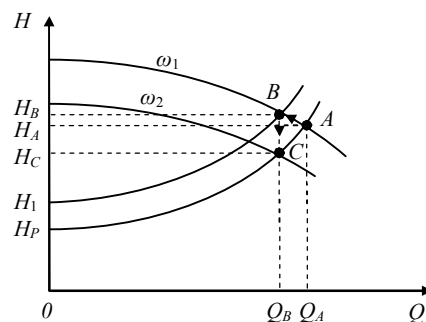


Рис. 3. Напірні характеристики при стабілізації напору в диктуючій точці мережі

Для нормального водопостачання споживачів у диктуючій точці P повинен підтримуватись вільний напір $H_{вільн}$. Точка P розміщена на геодезичній відмітці z_2 . Рівень води в резервуарі знаходиться на відмітці z_1 . Якщо насос долає гідравлічний опір магістральної лінії МЛ, то напір в диктуючій точці:

$$H_P = (H_{z_2} - H_{z_1}) + H_{вільн} \quad (6)$$

При частоті обертання ω_1 режим роботи насоса визначається точкою A . (рис. 3). Напір в диктуючій точці відповідає заданому H_p . Зменшення попиту на воду призведе до збільшення напору в диктуючій точці, насос працюватиме в точці B . Регулюючий пристрій $РП$ на основі інформації датчика тиску $ДТ$ зменшить частоту обертання насоса (точка C). При цьому в диктуючій точці встановиться напір H_p .

Система керування налагоджується таким чином, щоб зміни частоти обертання відбувалися при малих відхиленнях напору в диктуючій точці від заданих значень. Внаслідок цього робоча точка плавно переміщується по характеристиці водопроводу. Відповідно система працює без перевищення напору в економічному режимі.

У ряді випадків як регульований параметр може бути використаний рівень води в резервуарі або витрата води у водоводі.

Стабілізація рівнів води в резервуарах з метою енергозбереження організовується таким чином, щоб геодезичний перепад висот при перекачуванні був мінімально можливим (рис. 4) [4].

При вмиканні насосної установки на верхньому рівні рідини в резервуарі 1 і статичному початковому напорі H_1 робочий режим відповідає точці A перетину характеристики трубопроводу a_1 та насоса ω (рис. 5).

Зниження рівня рідини у резервуарі 1 і відсутність регулювання цього процесу призведе до зростання статичної складової, що відповідатиме переходу насоса в робочу точку B . Це призведе до збільшення напору та непродуктивних витрат електричної енергії.

Найвигіднішою, з економічного погляду, є стабільна робота установки з меншим напором, який відповідає стабільному верхньому рівню у резервуарі 1. Такий режим можливий при встановленні рівноваги між надходженням рідини до резервуара 2 і характеристикою насоса. Для цього останній повинен мати керований електропривід, який відповідно змінював би швидкість обертання (продуктивність насоса) залежно від зміни надходження рідини у водозбірник.

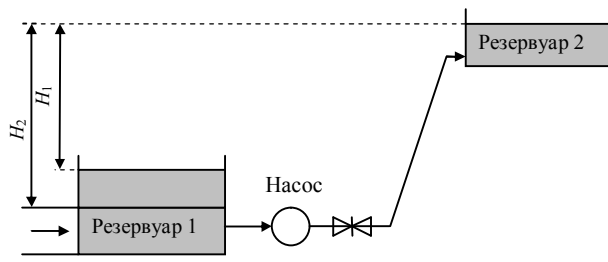


Рис. 4. Технологічна схема насосної установки із стабілізацією рівня рідини в резервуарі

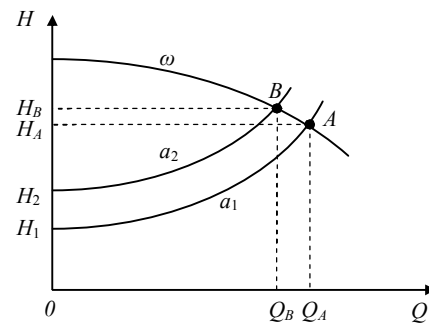


Рис. 5. Напірні характеристики при стабілізації рівня рідини в приймальному резервуарі

Системи програмного керування змінюють швидкість насосів відповідно до графіків добового споживання, які формують наперед шляхом експериментальних досліджень [4].

Можливе водопостачання згідно з графіком, що задається таймером [4]. Зменшення продуктивності насосної станції відбувається шляхом закриття засувок на одному із групи паралельно працюючих насосів з наступним відключенням цього насоса за умови, що закриття засувок не призвело до зниження тиску в напірному трубопроводі нижче припустимого рівня.

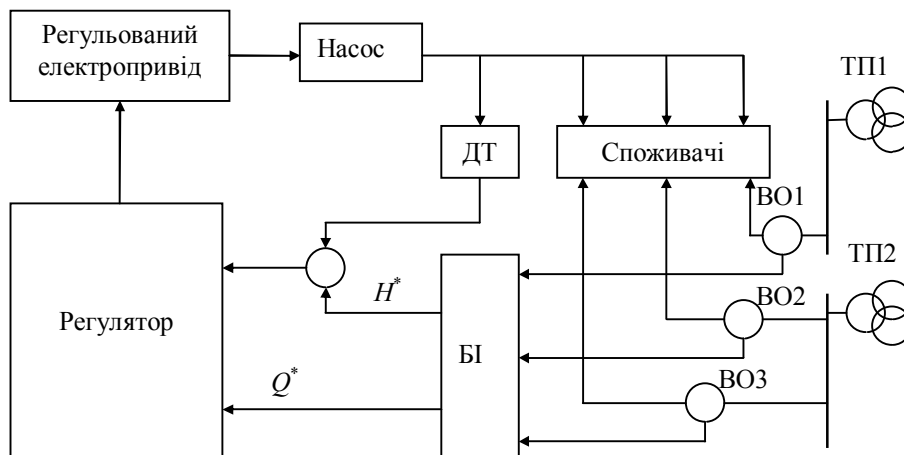


Рис. 6. Функціональна схема насосної установки із регулюванням водопостачання на основі побутової активності населення

Система автоматичного керування (рис. 6) забезпечує водопостачання із врахуванням добової динаміки побутової активності населення [8]. Внутрішній контур складається із датчика тиску DT , елемента порівняння і регулятора. Блок ідентифікації побутової активності населення BI , який входить до складу зовнішнього контуру, з дискретністю в часі опитує свої входи. В міру того, як змінюється інтенсивність електроспоживання в побуті, змінюється і величина сигналів, що надходять на вхід блока з вузлів обліку електроенергії $BO1, BO2, BO3$. Блок за визначеним алгоритмом обробляє ці сигнали і перетворює їх у сигнал уставки по тиску H^* на виході насосної станції, що подається на елемент порівняння, а також у сигнал завдання по продуктивності станції Q^* , що подається на регулятор. Внутрішній контур регулювання відпрацьовує ці сигнали і змінює частоту обертання насосів (або кількість працюючих насосів), а також тиск у напірній магістралі відповідно до потреби побутових споживачів у воді.

При екстремальному керуванні (частотне, векторне) автоматично забезпечується статичний режим роботи насоса з максимально можливим ККД при заданих витратах або привідного двигуна з мінімумом сумарних (або активних) втрат потужності. Можлива і одночасна оптимізація, при якій підсистема мінімізації втрат у двигуні є підпорядкованим контуром системи пошуку робочої точки насосу з максимально можливим ККД.

При частотному керуванні при забезпеченні мінімуму сумарних втрат [13, 15, 16, 19] використовується параболічний характер залежності втрат потужності в асинхронному двигуні (в сталі та міді) від напруги живлення. Втрати мають мінімальне значення при певній напрузі живлення:

$$U = U_H \sqrt{\frac{M_C}{M_H} \frac{f}{f_H}} \sqrt{\frac{P_{M.H}}{P_{CT.H} \left(a \frac{f_H}{f} + b \right)}}, \quad (7)$$

де U_H – номінальна напруга статора двигуна; M_H – номінальний момент двигуна, M_C – момент опору на валі двигуна; f_H – номінальна частота; f – частота, що забезпечує необхідну швидкість обертання двигуна; $P_{M.H}$ – втрати потужності в міді при номінальному режимі роботи; $P_{CT.H}$ – втрати в сталі при номінальному режимі роботи; a – коефіцієнт, що враховує частку втрат на гістерезис; b – коефіцієнт, що враховує частку втрат на вихрові струми.

Під час частотного керування при організації пошуку точки з максимальним ККД насосу [2, 17, 18] робота насосної установки організовується таким чином, щоб забезпечення потреб споживачів здійснювалося при максимально можливих значеннях ККД насоса.

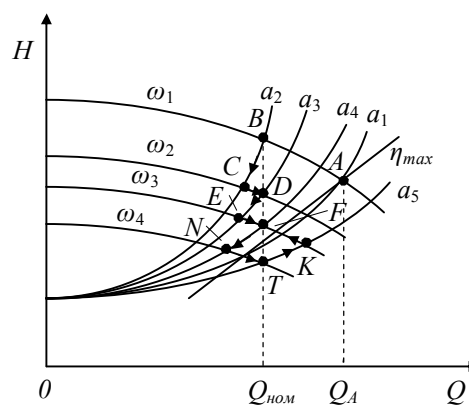


Рис. 7. Напірні характеристики при організації пошуку

Напірна характеристика насоса ω_1 та характеристика ККД насоса a_4 визначає положення робочої точки A (рис. 7). Продуктивність Q_A перевищує запити споживачів, тому опір мережі збільшується (точка B). Система керування зменшує швидкість насоса. Положення точки C визначатиметься частотою обертання ω_2 та опором мережі a_2 . Зменшення обертів насоса викличе реакцію споживачів, опір мережі зменшиться (точка D). Система керування зменшуватиме швидкість насоса, опір мережі теж буде зменшуватися до точки T , яка розміщена за лінією максимального ККД η_{max} .

Далі режим роботи насоса буде характеризуватися послідовними переходами з однієї робочої точки до іншої (точки T, K, F, N), викликаючи режим ризику.

Процес пошуку в даному випадку розглядається як деяка антагоністична гра між системою керування, яка постійно змінює величину продуктивності з метою створення собі найбільш "комфортних" умов з точки зору енерговитрат, і споживачами, які стабілізують величину продуктивності. Якщо споживачі не реагують на зменшення продуктивності, то швидкість поступово зменшиться до мінімально допустимого значення. Відносна економія електроенергії:

$$W' = 1 - \left(\sum_{i=6}^9 \frac{S_{FNTK}}{\eta_i} \right) \frac{\eta_B}{4S_B} \quad (8)$$

де S_{FNTK} – площі прямокутників, що обмежені прямими, які перетинаються в точках F, N, T, K ; S_B – площа прямокутника, що обмежений прямими, які перетинаються в точці B ; η_i – ККД насоса в точках F, N, T, K ; η_B – ККД насоса у точці B .

При векторному керуванні [20] використовується параболічний характер залежності втрат в міді асинхронного двигуна від модуля потокозчеплення. Значення потокозчеплення, при якому втрати мають мінімальне значення:

$$|\psi_{2ext}| = \sqrt{L_{12} U_{PШ}} \sqrt[4]{1 + \frac{R_2 L_{12}^2}{R_1 L_2^2}}, \quad (9)$$

де L_{12} – взаємна індуктивність статора і ротора; $U_{PШ}$ – вихідний сигнал регулятора швидкості; R_1 – активний опір обмотки статора; R_2 – активний опір обмотки ротора; L_2 – індуктивність обмотки ротора.

Для реалізації вищезгаданих електромеханічних систем автоматичного керування застосовується регулятор, який забезпечує необхідний алгоритм керування. У фіксовані моменти часу регулятор змінює параметр (напругу, частоту, потокозчеплення), який впливає на величину втрат або ККД. Якщо різниця між останнім та попереднім значеннями втрат (ККД) залишається позитивною при зменшенні параметра, то параметр зменшується далі. Якщо різниця стає негативною – параметр збільшується.

Частота робочих кроків повинна бути достатньо низькою, щоб система працювала лише в усталеному режимі. Амплітуда робочого кроку повинна вибиратись з урахуванням протиріччя: для зменшення часу пошуку екстремуму необхідне збільшення амплітуди; щоб зменшити амплітуду автоколивань в усталеному режимі необхідне зменшення амплітуди кроку.

У випадку використання контурів з регуляторами сумарних втрат та максимального ККД [17, 18] найбільше значення робочого кроку обмежується вимогами щодо часу пошуку робочої точки насоса з максимальним ККД, а найменше – часом, необхідним для пошуку робочої точки двигуна з мінімумом сумарних втрат. Для працездатності системи автоматичного керування важливим є узгодження кроків та амплітуд пошуку мінімуму втрат в двигуні та максимуму ККД насоса.

Висновок. Електроприводи з перетворювачами частоти надають можливість замкненого регулювання технологічних параметрів та формування механічних характеристик, які сприяють плавності пуску насосів. У сукупності з автоматизацією істотно заощаджуються ресурси за рахунок економії електроенергії, зниження невиробничих витоків води, зменшення спрацювання устаткування.

Регулювання кількості включених насосів з одночасною зміною частоти обертання забезпечує роботу установки в широкому діапазоні подач та напорів, створює умови безперебійного водопостачання.

Збільшення рівня енергозбереження насосних установок досягається за рахунок систем стабілізації, програмного керування, екстремальних систем. За допомогою активного впливу на комунікації здійснюється стабілізація напору та захист установки від гідравлічних ударів. Система водопостачання на основі добової динаміки побутової активності населення створює необхідний тиск та продуктивність, враховуючи кількість спожитої електроенергії відповідно періоду доби. Екстремальні системи забезпечують статичний режим роботи насоса з максимально можливим ККД при заданих витратах або привідного двигуна з мінімумом втрат потужності.

Застосування регульованого електропривода в складі систем автоматичного керування зменшує споживання електроенергії, але вимагає більших капіталовкладень. Тому важливо враховувати ряд чинників (вартість обладнання, термін окупності тощо), які впливатимуть на остаточний варіант насосної установки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грицак С.В. Автоматизована система керування насосною станцією міської системи водопостачання: Патент України № 26658, 25.09.2007.

2. *Кіселичник О.І.* Дослідження екстремальної енергозберігаючої нейронної системи автоматичного керування насосом водопостачання // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 2 (19). – Т. 1. – 2003. – С. 78–82.
3. *Красильников А.И.* Автоматизированные насосные установки с каскадно-частотным управлением в системах водоснабжения // Строительная инженерия. – № 2. – 2006: <http://www.linax-pump.ru/index.php>.
4. *Лезнов Б.С.* Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
5. *Лезнов Б.С., Гинзбург Я.Н.* Пособие по проектированию и диспетчеризации систем водоснабжения. – СоюзводоканалНИИпроект, 1985.
6. *Мустафин М.А.* Энергосберегающие системы электропривода центробежных насосных агрегатов: Автореф. дисс...д-ра техн. наук: 05.09.03. – Республика Казахстан, Алматы, 2007. – 43 с.
7. НПП "Римос". Общие сведения по насосному оборудованию, 2008: <http://www.rimos.ru/p/products/index.asp>
8. *Ольшевський О.М., Сергеев С.О., Колотило В.Д.* Система управління насосною станцією міської системи водопостачання: Патент України № 68448, 16.08.2004.
9. *Перекрест А.Л., Коренькова Т.В.* Структура системы регулирования параметров насосной установки с активным регулировочным устройством // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика", 2007. – С. 267–272.
10. *Перекрест А.Л., Коренькова Т.В.* Характеристики турбомеханизмов в двигательном и тормозном режимах электропривода // Електромашинобудування та електрообладнання. – Вип. 66. – Київ: Техніка, 2006. – С. 180–183.
11. *Перекрест А.Л., Коренькова Т.В.* Определение параметров системы активного регулирования производительности турбомеханизмов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 2 (19). – Т. 2. – 2003. – С. 73–77.
12. *Попович М.Г., Теряев В.І., Кіселичник О.І., Бур'ян С.О.* Особливості синтезу та дослідження електромеханічних систем з послідовною корекцією та частотно регульованими асинхронними двигунами // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3 (44). – Ч. 2. – 2007. – С. 12–16.
13. *Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І., Бур'ян С.О.* Динаміка електромеханічних систем автоматичного керування турбомеханізмами з екстремальними напірними характеристиками // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету: Тематичний випуск "Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика", 2007. – С. 407–411.
14. *Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б.* Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. — К.: Либідь, 2005. — 680 с.
15. *Попович Н.Г., Печеник Н.В., Кіселичник О.І., Ковальчук А.В.* Особенности экстремальных электромеханических систем автоматического управления и задача энергосбережения // Электротехника. – Вип. № 3. – 2003. – С. 12–17.
16. *Попович М.Г., Кіселичник О.І.* Електромеханічні системи автоматичного керування робочими параметрами турбомеханізмів на основі принципу пасивності // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Вип. 43. – 2002. – С. 37–41.
17. *Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І., Ковальчук О.В.* Особливості організації екстремальних енергозберігаючих систем при різних методах керування асинхронних електроприводів // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 1 (12). – 2002. – С. 129–132.
18. *Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І.* Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Вип. 12. – Т. 1. – 2002. – С. 37–41.
19. *Попович М.Г., Печеник М.В., Ковальчук О.В., Кіселичник О.І.* Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи з асинхронним електроприводом // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Вип. 10. – 2001. – С. 314–318.
20. *Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселичник О.І., Ковальчук О.В.* Електромеханічні енергозберігаючі екстремальні системи при векторному керуванні асинхронних двигунів // Електромашинобудування та електрообладнання. – Вип. 57. – Одеса, 2001. – С. 3–11.
21. *Родин Я.Н., Сидорин А.Е.* Каскадно-частотное управление асинхронными двигателями на насосных станциях // Электротехнические комплексы и системы управления. – № 2, 2006: <http://www.v-itc.ru/elektrotech>.

22. Сахарнов Ю.В. Теоретические аспекты эффективности внедрения систем с частотно-регулируемыми приводами // Энергетика и химия. – ИП "Лидер-инжиниринг", 2005: <http://www.le.by>.
23. Цапин А.В. Энергосберегающий электропривод // Рынок Электротехники. – № 1. – 2006: <http://www.marketelectro.ru/index.html>.

СОКОЛОВСЬКИЙ Олег Феліксович – завідувач відділення електрифікації та автоматизації сільського господарства Житомирського агротехнічного коледжу.

Наукові інтереси:

- енергозбереження в системах автоматизованого електропривода;
- дослідження електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками.

Тел.: 8-0412-259549; 8-097-578-77-54.

E-mail: of@ukr.net

Подано 25.06.2008

Соколовський О.Ф. Шляхи енергозбереження в насосних установках.

Соколовский О.Ф. Пути энергосбережения в насосных установках.

Sokolovskyy O.F. Energy saving approaches for pumps installations.

УДК 621.34-52

Пути энергосбережения в насосных установках / О.Ф. Соколовский

Рассмотрено способы регулирования технологическими параметрами насосных установок. Проанализированы технические решения систем автоматического управления, которые обеспечивают энергосбережение в системах водоснабжения.

УДК 621.34-52

Energy saving approaches for pumps installations / O.F. Sokolovskyy

Control methods of technological parameters of pumps installations have been considered. Technical solutions of automatic control systems providing energy saving for water supply systems have been reviewed.