

**О.Ф. Соколовський, к.т.н., доц.**  
*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова*  
*Національного авіаційного університету*

### КОНТРОЛЬ РЕЖИМІВ НАСОСІВ В ІНТЕРАКТИВНІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ СИСТЕМІ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПАРАЛЕЛЬНО ПРАЦЮЮЧИМИ АГРЕГАТАМИ

*Визначено особливості керування багатоагрегатними насосними установками. Проаналізовано граничні режими роботи агрегатів при інтерактивному керуванні. Розроблено алгоритми роботи контролера режимів насосів при використанні одного та двох регульованих агрегатів.*

**Вступ.** Однією із найважливіших умов сучасного технічного розвитку є підвищення енергоефективності, тобто зменшення витрат електричної енергії на одиницю продукції. Вагомий економічний ефект може бути досягнуто за рахунок реконструкції існуючих електромеханічних систем насосних установок комунальних підприємств водопостачання на основі електроприводів з перетворювачами частоти, автоматизація яких на основі ефективних методів керування забезпечить економію електроенергії, знизить невиробничі витрати води, зменшить спрацювання устаткування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сучасні системи керування станцій підвищення тиску передбачають підтримання сталого значення напору в напірному колекторі. Шафи керування таких установок мають широкий набір функціональних можливостей за рахунок застосування перетворювачів частоти та сучасних засобів автоматики [1–3]. Враховуючи велику розгалуженість трубопроводів та з огляду на стає значення тиску на вході мережі, можна зробити висновок, що системи стабілізації напору неповністю впливають на створення необхідного рівня водозабезпечення та недостатньо сприяють вагомому зменшенню витрат електричної енергії.

Підвищення надійності та енергоефективності водопостачання можливе за рахунок впровадження енергозберігаючого інтерактивного методу керування, при якому швидкість насоса визначається в результаті взаємодії системи керування та споживачів [4]. Інтерактивна система автоматичного керування багатоагрегатною насосною установкою реагує на тенденцію водоспоживання і через фіксовані проміжки часу формує сигнал завдання швидкості електропривода відповідно до запитів мережі.

**Постановка завдання.** При розробці інтерактивних систем керування багатоагрегатними насосними установками недостатня увага приділена контролю граничних режимів. Метою даної роботи є вдосконалення алгоритмів керування двоагрегатною насосною установкою, що унеможливить аварійне зростання напору в системі та дозволить уникнути кавітаційного режиму роботи насосів.

**Викладення основного матеріалу.** При паралельній роботі нерегульованого і регульованого агрегатів, що обладнані насосами з однаковими напірними характеристиками; пуск здійснюється почерговим вмиканням агрегатів [3, 5, 6]. Після пуску системи оберти регульованого насоса визначаються рівнянням [6]:

$$\omega_{a1}((n+1)T_0) = \omega_{a1}((n-1)T_0) \frac{kQ(nT_0)}{Q((n-1)T_0) + c} + \omega_{a2} \left( \frac{kQ(nT_0)}{Q((n-1)T_0) + c} - 1 \right), \quad (1)$$

де  $T_0$  – період квантування інтерактивного регулятора;  $\omega_{a1}((n+1)T_0)$  – швидкість регульованого електропривода на наступному кроці квантування;  $\omega_{a1}((n-1)T_0)$  – швидкість регульованого електропривода на попередньому кроці квантування;  $\omega_{a1}(nT_0)$  – швидкість регульованого електропривода на поточному кроці квантування;  $\omega_{a2}$  – швидкість нерегульованого електропривода;  $Q(nT_0)$  – продуктивність насосної установки на поточному кроці квантування;  $Q((n-1)T_0)$  – продуктивність насосної установки на попередньому кроці квантування;  $k$  – коефіцієнт затухання;  $\tilde{n}$  – мала стала для уникнення ділення на нуль;  $n$  – ціле додатне число.

У випадку зменшення продуктивності одного з насосів до нуля сучасні системи стабілізації напору передбачають вимкання агрегату із одночасним блокуванням проходу рідини через дану гілку мережі [1, 3, 5]. При збільшенні продуктивності до  $Q_{1\max}$  за номінальної швидкості насоса відбувається вмикання другого агрегату (рис. 1). Для мінімального впливу на мережу та електропривод під час вмикання другого насоса система керування переключає живлення агрегатів. Регульований агрегат отримує живлення безпосередньо від мережі, нерегульований агрегат приєднується до перетворювача



частоти, що забезпечує плавний пуск за заданою кривою розгону. Це дозволяє уникнути гідравлічних ударів та стрибків струму внаслідок розгону двигуна.

На рисунку 1:  $a_{1\min}$  – мінімальний гідравлічний опір мережі, що відповідає максимальній продуктивності одного насоса;  $a_{\min}$  – мінімальний гідравлічний опір мережі, при якому сумарна продуктивність двох насосів відповідає максимальному значенню;  $a_{\max}$  – максимальний гідравлічний опір мережі;  $Q_{1\min}$  – мінімальна продуктивність одного агрегату;  $Q_{1\max}$ ,  $Q_{2\max}$  – максимальні продуктивності відповідно першого і другого агрегатів;  $Q_{\max}$  – максимальна продуктивність установки;  $H_{\min}$ ,  $H_{\max}$  – мінімальний та максимальний напори в системі;  $\omega_1 = \omega_2$  – напірні характеристики першого та другого насосів за однакової частоти обертання робочих коліс;  $\omega_1 + \omega_2$  – сумарна напірна характеристика двох насосів при максимальній частоті обертання регульованого насоса.

Із практики відомо, що процеси в гідравлічних мережах мають квазістаціонарний характер, коли водоспоживання майже не змінюється на тривалих проміжках часу [2, 3]. Також необхідно підкреслити, що при стабілізації напір біля споживачів на протязі доби може зменшуватись до 30 м у часи максимального водорозбору та зростати до максимуму, який відповідає тиску на напірному колекторі насосної станції, при незначному попиті на воду. Інтерактивне керування передбачає регулювання напору у діапазоні 30–45 м. Для забезпечення зазначеного вище діапазону напору в схемі керування необхідно передбачити контролер режимів насосів. Схема алгоритму роботи контролера представлена на рисунку 2.

Початок роботи визначається пуском одного агрегату при номінальній частоті з наступним переходом на інтерактивне керування. В процесі роботи здійснюється контроль продуктивності і напору. Стабілізація його на нижній межі діапазону відбувається за умови:  $Q_{1\min} < Q < Q_{1\max}$ . Якщо продуктивність досягне максимального значення – відбудеться вмикання другого агрегату. Як бачимо зі схеми алгоритму, пуск другого агрегату може відбутися як під час інтерактивного керування, так і при стабілізації напору. За незначного водоспоживання агрегат буде зупинено. При стабілізації параметра на рівні  $H_{\max}$  зменшення швидкості ( $\omega_{s+1} < \omega_i$ ) призведе до повернення в роботу інтерактивного регулятора.

Для попередження кавітаційного режиму нерегульованого насоса при одночасній роботі агрегатів передбачено стабілізацію напору установки на рівні  $H_{\min}$ . Інтерактивне керування відновиться за умови стійкої тенденції збільшення швидкості регульованого насоса ( $\omega_{s+1} > \omega_i$ ). Вимкання нерегульованого агрегату відбудеться за умов:  $H = H_{\min}$ ,  $Q = Q_{1\min}$ .

Робота блока контролю швидкості регульованого насоса повинна бути синхронізована з тактами квантування інтерактивного регулятора.

Зменшення стрибків струму в процесі регулювання здійснюється обмеженням швидкості зміни сигналу завдання на вході частотного перетворювача у поєднанні із функцією перетворювача частоти за струмообмеженням.



Розширення діапазону допустимих режимів установки можна досягти застосуванням всіх регульованих насосних агрегатів [1–3]. У цьому випадку мінімально допустимий напір двох регульованих агрегатів буде обмежений параболою, яка проходить через точки із максимально допустимою продуктивністю установки при заданих частотах обертання насосних агрегатів та напірною характеристикою установки за мінімальної частоти обертання обох агрегатів  $\omega_{1\min}$ ,  $\omega_{2\min}$  (рис. 3).

Опір мережі за умови роботи насосів із максимальною продуктивністю:

$$a_{\min} = \frac{H_{0\Sigma} - H_{\dot{n}\dot{o}} - a_{\dot{o}} Q_{\max}^2}{Q_{\max}^2}, \quad (2)$$

де  $H_{0\Sigma}$  – фіктивний напір насосної установки;  $H_{\dot{n}\dot{o}}$  – статичний;  $a_{\dot{o}}$  – фіктивний гідравлічний опір насосної установки.

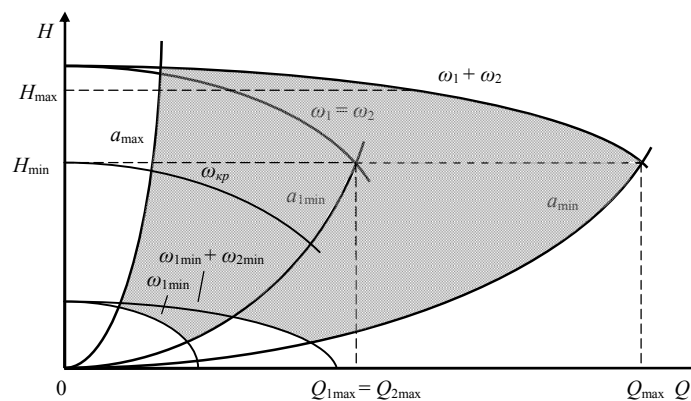


Рис. 3. Діапазон роботи регульованих паралельно працюючих агрегатів

При паралельній роботі регульованих агрегатів швидкість насосів змінюється синхронно. На першому етапі здійснюється пуск першого агрегату. При збільшенні продуктивності до  $Q_{1\max}$  за номінальної швидкості насоса відбувається вмикання другого агрегату. Для уникнення гідравлічного удару в процесі пуску забезпечується примусове підтримання частоти обертання першого агрегату та плавний розгін другого агрегату. Інтерактивне керування буде відновлено при  $Q > Q_{1\max}$ , після чого швидкості двох агрегатів вирівнюються. Під час роботи системи здійснюється контроль напору у верхній частині діапазону із стабілізацією параметра при досягненні величини  $H_{\max}$ . Зменшення швидкості ( $\omega_{s+1} < \omega_i$ ) призведе до повернення в роботу інтерактивного регулятора. При стабілізації напору на рівні  $H_{\min}$  інтерактивне керування вступить в дію за умови:  $\omega_{s+1} > \omega_i$ . Якщо два агрегати працюватимуть при напорі  $H_{\min}$  зі швидкістю  $\omega_{\text{ед}}$ , то частота обертання одного із насосів буде примусово зменшена до мінімального значення продуктивності з таким відключенням агрегату.

Структурна схема інтерактивної електромеханічної системи автоматичного керування з використанням контролера режимів насосів надано на рисунку 4.

На рисунку 4:  $\hat{O}\dot{I}$  – функціональний перетворювач [4, 6, 7];  $\dot{I}\times$  – перетворювач частоти;  $U_{1a}$ ,  $U_{1b}$  – проєкції вектора напруги статора на осі a–b нерухомої системи координат статора;  $U_{\text{сUm}}$  – завдання амплітуди напруги перетворювача частоти;  $U_{\text{cf}}$  – напруга завдання частоти;  $a$  – гідравлічний опір мережі;  $Q_1$  – продуктивність регульованого насоса;  $Q_2$  – продуктивність нерегульованих насосів;  $M_{\text{на1}}$ ,  $M_{\text{на2}}$  – моменти опору відповідно на валу регульованого та нерегульованого електроприводів;  $\omega_{a1}$ ,  $\omega_{a2}$  – швидкості відповідно регульованого та нерегульованого електроприводів.

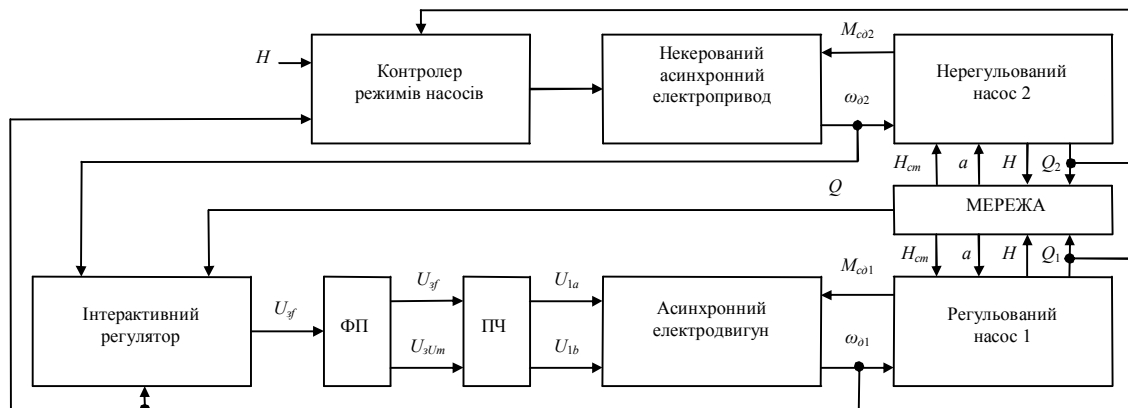


Рис. 4. Структурна схема електромеханічної системи при паралельній роботі регульованого і нерегульованого насосних агрегатів в умовах застосування

**Висновок.** При розробці інтерактивних електромеханічних систем багатоагрегатних насосних установок необхідно передбачити обмеження при досягненні максимального та мінімального рівнів напору. Запропонований контролер режимів насосів дозволяє здійснювати моніторинг технологічних параметрів установки з одночасною їх корекцією, що забезпечує підтримання заданого діапазону напору та попереджує нестійку роботу установки в зоні граничних режимів.

Подальші дослідження рекомендується направити на розроблення алгоритму керування контролера режимів насосів при послідовному з'єднанні агрегатів.

#### Список використаної літератури:

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.

- : Издательский центр “Академия”, 2007. – 576 с.
2. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи : навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін. ; за ред. М.Г. Поповича та О.Ю. Клепикова. – К. : Либідь, 2005. – 680 с.
  3. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходушных установках / Б.С. Леонов. – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
  4. Енергозберігаючі інтерактивні електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками / М.Г. Попович, М.В. Печеник, О.І. Кіселичник, О.Ф. Соколовський // Електромашинобудування та електрообладнання. Одеський національний політехнічний університет : міжвід. наук.-тех. зб. – Одеса, 2006. – Вип. 66. – С. 311–314.
  5. Продукция корпорации Триол [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.triolcorp.com>.
  6. Соколовський О.Ф. Застосування інтерактивного алгоритму в схемах багатоагрегатних насосних установок / О.Ф. Соколовський // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2007. – Вип. IV (43). – С. 48–54.
  7. Соколовський О.Ф. Енергозбереження в багатоагрегатних насосних установках / О.Ф. Соколовський // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2008. – Вип. I (44). – С. 102–108.

СОКОЛОВСЬКИЙ Олег Феліксович – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціальних систем озброєння Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– енергозбереження в системах автоматизованого електропривода;

– дослідження електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками.

Тел.: (097)578–77–54.

E-mail: [of@ukr.net](mailto:of@ukr.net)

Стаття надійшла до редакції 30.11.2011

**Соколовський О.Ф.** Контроль режимів насосів в інтерактивній електромеханічній системі автоматичного керування паралельно працюючими агрегатами

**Соколовский О.Ф.** Контроль режимов насосов в интерактивной электромеханической системе автоматического управления паралельно-работающими агрегатами.

**Sokolovskyy O.F.** Supervision mode pump for interactive electromechanical system of automatic control of parallel acting pump aggregates.

УДК 62-83:628.12

**Контроль режимов насосов в интерактивной электромеханической системе автоматического управления паралельно-работающими агрегатами / О.Ф. Соколовский**

Определены особенности управления многоагрегатными насосными установками. Проанализированы граничные режимы работы агрегатов при интерактивном управлении. Разработаны алгоритмы работы контроллера режимов насосов при использовании одного и двух регулируемых агрегатов.

УДК 62-83:628.12

**Supervision mode pump for interactive electromechanical system of automatic control of parallel acting pump aggregates / O.F. Sokolovskyy**

It has been Features of control by multyaggregate pump installations. Boundary operating modes of units were analyzed at interactive control. Algorithms of work of the pump modes were developed at using one and two adjustable units.