

УДК 62-83:628.12

О.Ф. Соколовський, к.т.н., доц.*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету України***М.С. Карпінська, студ.***Національний університет біоресурсів і природокористування України***ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕРАКТИВНОГО КЕРУВАННЯ В ІГРОВИХ СИСТЕМАХ**

Визначено особливості впливу інтерактивного керування на споживачів. Формалізовано стратегію учасників водорозбору, побудовано матриці вигравів з урахуванням напрямку зміни напору в системі. Розроблено алгоритм керування для послідовно працюючих насосних агрегатів.

Вступ. За умов стрімкого зростання цін на енергоресурси, враховуючи тривалість роботи та кількість насосних установок, обмеженість запасів прісної води, розробка електромеханічних систем автоматичного керування установками водопостачання з енерго- та ресурсозберігаючими алгоритмами стає одним із пріоритетних завдань суспільства. Визначення особливостей взаємодії споживачів дозволить розвинути перспективи подальшого вдосконалення електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Найбільш поширеним алгоритмом керування при використанні регульованого електропривода в насосних установках є стабілізація напору в напірному колекторі. Для автоматизації водопостачання та систем підвищення тиску житлових, виробничих та адміністративних приміщень застосовують багатоагрегатні насосні станції з каскадним та каскадно-частотним керуванням [1–3].

Враховуючи велику розгалуженість трубопроводів та з огляду на сталі значення тиску на вході мережі, можна зробити висновок, що система керування насосною установкою не може повністю впливати на створення необхідного рівня водозабезпечення та спонукати споживачів до ощадливої поведінки. Якщо в контрольній точці змінювати значення напору із врахуванням тенденції водоспоживання, то система керування стане учасником гри, який намагатиметься отримати виграв у вигляді зменшення енергозатрат на транспортування води. Це змусить споживачів “домовлятися” між собою заради створення комфортних умов та враховувати потреби системи.

Зменшення витрат електричної енергії при підтриманні необхідного рівня водозабезпечення споживачів можливе за рахунок впровадження ігрової системи автоматичного керування насосною установкою, що базується на застосуванні енергозберігаючого інтерактивного алгоритму [4]. Роботу алгоритму продемонстровано на рисунку 1. Початковий режим визначається точкою А, насос працює зі швидкістю ω_1 .

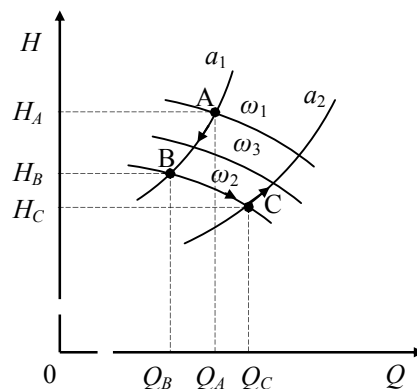


Рис. 1. Характеристики мережі та насоса при застосуванні інтерактивного алгоритму

Періодичною зміною швидкості насоса система керування ініціює інтерактивне опитування споживачів. Якщо при зменшенні швидкості (точка В) споживачі встановлюють фактичні витрати води (точка С) більшими, ніж запропоноване значення, то швидкість зростає пропорційно співвідношенню фактичного і запропонованого значення, в протилежному випадку – зменшується. Тобто, система керування реагує на тенденцію водоспоживання і через фіксовані проміжки часу формує сигнал завдання швидкості електропривода відповідно до запитів мережі.

На рисунку 1: Q – продуктивність насосної установки; H – напір насосної установки; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – напірні характеристики насоса при відповідних частотах обертання привідного двигуна ($\omega_1 > \omega_3 > \omega_2$); \dot{a}_1, \dot{a}_2 – характеристики мережі з певними гідравлічними опорами ($a_1 > a_2$).

Постановка завдання. При розробці систем керування насосними установками взаємодії споживачів приділяється недостатньо уваги. Таким чином, постає завдання розширити базу для подальшого розвитку в цій галузі. **Метою** даної роботи є дослідження взаємодії учасників водорозбору, розробка моделі поведінки споживачів в умовах сучасних систем керування насосними установками з використанням положень теорії ігор та формування закону керування для послідовно працюючих насосних агрегатів.

Викладення основного матеріалу. У системах підвищення тиску міського водопостачання стало значення напору підтримується в певній точці мережі, як правило, в напірному колекторі. Відомо, що із збільшенням висоти підйому рідини тиск у системі знижується через втрати тиску в трубах, засувках, очищувачах води, лічильниках, колінах тощо. Велике значення має стан внутрішньої поверхні труб. Корозія та низька якість зварювальних швів призводять до значного зростання гідравлічного опору трубопроводу [1, 2]. У процесі водоспоживання відбувається постійний перерозподіл тиску між споживачами. Так, якщо водою користуються на нижніх поверхах, то втрати напору будуть обумовлені витратами води та гідравлічним опором ділянки трубопроводу від точки всмоктування води до точки споживання. Якщо при цьому буде відкрито кран на верхніх поверхах, то тиск на нижньому поверсі знизиться внаслідок зростання загальних витрат води. При закриванні водозабірної арматури на нижньому поверсі напір на верхньому поверсі зростає. Для зменшення кількості води споживачі верхнього поверху повинні збільшити ступінь закривання вентиля, що призведе до збільшення тиску в системі. Якщо у ході споживання води беруть участь декілька абонентів, то кількість отриманої води та тиск на вході будуть залежати від взаємного положення вентилів у кожного із учасників водорозбору. Такий процес можна кваліфікувати як гру, де всі гравці змушені рахуватися із суперниками заради комфортних умов отримання води. В ігрових системах процес керування здійснюється у взаємодії з багатьма об'єктами, інтереси сторін є протилежними, дії сторін і збурень можуть мати випадковий характер [5].

Розглянемо особливості впливу інтерактивного способу керування на психологію поведінки споживачів, їх реакцію на обмеження водозабезпечення у побуті. При відкриванні крана споживач очікує на отримання певної кількості води. Якщо напір недостатній – виникає необхідність збільшення ступеня відкривання водозабірної арматури. При зростанні напору – споживач заспокоюється і не змінює далі кут повороту вентиля. У випадку відсутності змін попиту на воду система зменшує пропозицію. Споживач реагує чи не реагує на зміну напору залежно від потреб. Таким чином, реалізується принцип діалогу, що лежить в основі інтерактивного керування. Проаналізуємо поведінку споживачів у рамках відомої біматричної гри “дилема арештованого”, запропонованої А.У. Такером, в якій кожен із учасників може співпрацювати з іншим гравцем (гравцями) або “зраджувати” їх [6, 7]. Для вироблення стратегії розділимо учасників на окремого гравця та групу. Стратегія гравців буде враховувати можливі варіанти розвитку подій залежно від попередніх обставин. При зменшенні напору поворот вентиля в сторону відкриття означає реакцію гравців на пропозицію системи. Збільшення ступеня закриття водозабірної арматури буде відбуватися у випадку зростання водозабезпечення.

Якщо розглядається ситуація, якій передувало зменшення напору системою, то матрицю вигравів можна представити у вигляді таблиці 1. Зменшення водозабезпечення є більш привабливим, ніж надлишок, так як попереднє зменшення напору враховувало тенденцію взаємодії системи та всіх гравців. Окрім того, у випадку “зради” однієї зі сторін, інша не має визначеності щодо результату взаємодії. Таким чином, у грі беруть участь окремий учасник, група гравців та система керування, яка оцінює дії суперників. Якщо одна із сторін “зраджує”, то вона отримує необхідну кількість води (D), протилежна сторона – з надлишком (с). “Зрада” призводить до подальшого зниження рівня комфорту для всіх учасників (d). Якщо всі учасники співпрацюють, то система керування забезпечує для них певний рівень комфорту (C). Обов'язково має виконуватись нерівність $D > C > d > c$.

Таблиця 1

Матриця вигравів при зменшенні напору

	Група реагує на зміну водозабезпечення (зраджує)	Група не реагує на зміну водозабезпечення (не зраджує)
Гравець реагує на зміну водозабезпечення (зраджує)	Водозабезпечення всіх гравців зростає (d)	Гравець отримує необхідну кількість води (D), група отримує кількість води з надлишком (с)
Гравець не реагує на зміну	Гравець отримує кількість води з	Водозабезпечення всіх гравців

водозабезпечення (не зраджує)	надлишком (с), група отримує необхідну кількість води (D)	зменшується (C)
-------------------------------	---	-----------------

Таблиця 2

Матриця вигравів при збільшенні напору

	Група не реагує на зміну водозабезпечення (не зраджує)	Група реагує на зміну водозабезпечення (зраджує)
Гравець не реагує на зміну водозабезпечення (не зраджує)	Водозабезпечення всіх гравців зменшується (C)	Гравець отримує недостатню кількість води (с), група отримує необхідну кількість води (D)
Гравець реагує на зміну водозабезпечення (зраджує)	Гравець отримує необхідну кількість води (D), група отримує недостатню кількість води (с)	Водозабезпечення всіх гравців не відповідає запиту (d)

Таблиця 2 відображає матрицю для випадку, який відповідає зростанню напору в минулому часі. Слід зазначити, що “зрадою” в такій ситуації є реакція на збільшення водопостачання. Система керування передбачає зменшення водопостачання для всіх гравців за відсутності їхньої реакції та при сумісному реагуванні на попереднє зростання напору.

Для реалізації алгоритму керування, що враховує особливості взаємодії учасників гри в системі з послідовно працюючим регульованим і нерегульованим насосним агрегатом, використаємо відомі співвідношення [8]:

$$\frac{(\omega_2 + \omega_{i\ddot{a}\delta})^2}{(\omega_1 + \omega_{i\ddot{a}\delta})^2} = \frac{H_B}{H_A}; \tag{1}$$

$$\frac{(\omega_3 + \omega_{i\ddot{a}\delta})^2}{(\omega_2 + \omega_{i\ddot{a}\delta})^2} = \frac{H_C}{H_B}; \tag{2}$$

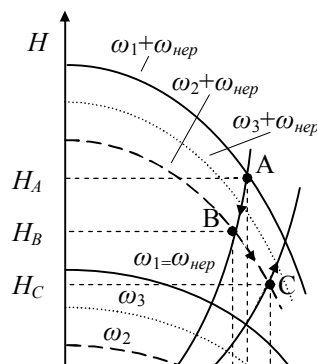
$$\omega_3 = \sqrt{\frac{H_A}{H_C} \frac{(\omega_2 + \omega_{i\ddot{a}\delta})^2}{\omega_1 + \omega_{i\ddot{a}\delta}}} - \omega_{i\ddot{a}\delta}, \tag{3}$$

де ω_1, ω_2 – попередні швидкості регульованого насоса; ω_3 – розрахункова швидкість регульованого насоса; $\omega_{i\ddot{a}\delta}$ – швидкість нерегульованого насоса; H_A, H_B, H_C – напори насосної установки у відповідних точках; Q_A, Q_B, Q_C – продуктивності насосної установки у відповідних точках (рис. 2). Характеристики $\omega_1 + \omega_{i\ddot{a}\delta}, \omega_2 + \omega_{i\ddot{a}\delta}, \omega_3 + \omega_{i\ddot{a}\delta}$, отримані при графічному додаванні продуктивності насосних агрегатів за відповідного напору.

Частота обертання двигуна регульованого насоса при інтерактивному керуванні [8]:

$$\omega_{a1}((n+1)T_0) = \frac{k\sqrt{H((n-1)T_0)}}{\sqrt{H(nT_0) + c}} \frac{(\omega_{a1}(nT_0) + \omega_{a2})^2}{(\omega_{a1}((n-1)T_0) + \omega_{a2}) + c} - \omega_{a2}, \tag{4}$$

де $\omega_{a1}((n+1)T_0)$ – швидкість регульованого електропривода на наступному кроці квантування алгоритму; $\omega_{a1}(nT_0)$ – швидкість регульованого електропривода на поточному кроці квантування; $\omega_{a1}((n-1)T_0)$ – швидкість регульованого електропривода на попередньому кроці; T_0 – період квантування; $H(nT_0)$ – напір насосної установки на поточному кроці квантування; $H((n-1)T_0)$ – напір насосної установки на попередньому кроці; k – коефіцієнт затухання; ω_{a2} – швидкість нерегульованого електропривода; c – стала величина для уникнення ділення на нуль.



У випадку послідовного з'єднання регульованого та γ -нерегульованих агрегатів швидкість на кожному такті квантування буде формуватися згідно з виразом:

$$\omega_{a1}((n+1)T_0) = \frac{k\sqrt{H_{\Sigma}((n-1)T_0)}}{\sqrt{H_{\Sigma}(nT_0)} + c} \frac{\left(\omega_{a1}(nT_0) + \sum_1^{\gamma} \omega_{a2i}\right)^2}{\left(\omega_{a1}((n-1)T_0) + \sum_1^{\gamma} \omega_{a2i}\right) + c} - \sum_1^{\gamma} \omega_{a2i}, \quad (5)$$

де H_{Σ} – сумарний напір регульованого агрегату та γ -нерегульованих агрегатів.

Висновок. Взаємодію споживачів і системи керування можна віднести до неантагоністичних позиційних диференційних ігор. Для реалізації інтерактивної системи керування необхідно враховувати, що у грі бере участь велика кількість учасників. При цьому інтереси сторін є не повністю протилежними, кожен із них оптимізує свій показник якості і має власний ресурс керування. Тенденція зміни швидкості регульованого електропривода залежить від поведінки споживачів за два кроки квантування відносно поточного моменту часу, що впливає на енергозберігаючі можливості системи.

Подальші дослідження рекомендується направити на вироблення закону керування при паралельному з'єднанні регульованого та γ -нерегульованих агрегатів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Закладний О.М.* Енергозбереження засобами промислового електропривода / *О.М. Закладний, А.В. Праховник, О.І. Соловей.* – К. : Кондор, 2005. – 408 с.
2. *Лезнов Б.С.* Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках / *Б.С. Лезнов.* – М. : Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
3. *Белов М.П.* Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов : учебник для вузов / *М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов.* – М. : Академия, 2007. – 576 с.
4. Енергозберігаючі інтерактивні електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками / *М.Г. Попович, М.В. Печеник, О.І. Кіселичник та ін.* // Електромашинобудування та електрообладнання. ОНПУ : міжвідомчий науково-технічний зб. – Одеса, 2006. – Вип. 66. – С. 311–314.
5. *Попович М.Г.* Теорія автоматичного керування / *М.Г. Попович, О.В. Ковальчук.* – К. : Либідь, 2007. – 656 с.
6. *Красовский Н.Н.* Позиционные дифференциальные игры / *Н.Н. Красовский, А.И. Субботин.* – М. : Наука, 1974.
7. *Семенцев А.А.* Оптимальное управление в повторяющейся биматричной игре с конечной памятью и в поведенческой модели фирмы : автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.13.18 “Математические методы, численное моделирование и комплексы программ” / *А.А. Семенцев.* – Екатеринбург, 2001. – 19 с.
8. *Соколовський О.Ф.* Застосування інтерактивного алгоритму в схемах багатоагрегатних насосних установок / *О.Ф. Соколовський* // Вісник ЖДТУ. – Житомир, 2007. – Вип. 4 (43). – С. 48–54.

СОКОЛОВСЬКИЙ Олег Феліксівич – доцент кафедри спеціальних систем озброєння, кандидат технічних наук 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

КАРПІНСЬКА Марина Сергіївна – студентка факультету енергетики і автоматики Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Наукові інтереси:

- енергозберігаючі технології;
- альтернативні джерела енергії.

Тел.: (097)142-32-99.

E-mail: 207_@ukr.net

Подано 19.10.2011

