

## ДОСЛІДЖЕННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ СПОРУД З РЕГУЛЬОВАНИМИ ТА НЕРЕГУЛЬОВАНИМИ НАСОСАМИ В БЕЗБАШТОВИХ СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*В статті досліджено різні випадки роботи безбаштової водопровідної системи з регульованими та нерегульованими насосами, проаналізовано особливості паралельної роботи різнотипних насосів, наведено залежності для визначення показників роботи насосних агрегатів, розглянуто ефективність застосування частотних перетворювачів в системах водопостачання.*

**Постановка проблеми.** Дослідження роботи діючих систем водопостачання свідчать, що в населених пунктах з часом змінюються норми і режими водоспоживання, а також характеристики водопровідних споруд, що призводить до створення надлишкових тисків в мережі та зростання її аварійності, виникнення протиріч між проектними та реальними експлуатаційними даними роботи системи водопостачання, незабезпечення споживачів потрібними витратами і напорами води. У багатьох випадках робота насосів перебуває поза межами їх рекомендованого застосування, тобто з низькими ККД і високим рівнем енергоспоживання, а тому значна частина діючого насосного обладнання в Україні потребує заміни чи реконструкції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед складових, що формують собівартість води на комунальних підприємствах, зазвичай найбільшу частку становлять витрати за споживану електроенергію. Таким чином, важливим завданням у даний час є забезпечення ефективного функціонування насосних станцій, які б задовольняли розрахункові потреби у воді споживачів з мінімальними енерговитратами. Досягти цього можна шляхом дослідження і розрахунку різних можливих варіантів роботи регульованих і нерегульованих насосів та визначення доцільних режимів і показників їх експлуатації при зміні водоспоживання.

Найбільш складні ситуації виникають при сумісній роботі споруд безбаштових систем водопостачання в умовах зниження водозабору. В результаті застосування застарілого обладнання та нерационального використання насосних агрегатів спостерігається надлишковий тиск в трубопроводних лініях, а через велику зношеність інженерних комунікацій фіксується значна кількість аварійних ситуацій. При цьому здійснюється значна перевитрата електроенергії, що в умовах невпинного зростання її вартості призводить до суттєвого збільшення експлуатаційних затрат комунальних підприємств, зростання собівартості води та підвищення тарифів для споживачів.

**Формування цілей та завдання статті.** Для вирішення цих проблем необхідно забезпечити енергоощадну сумісну роботу водопровідних споруд в системі водопостачання. Це можна досягнути шляхом реконструкції насосних станцій, встановлюючи на них сучасні насоси з частотними перетворювачами та визначаючи оптимальні робочі параметри насосних агрегатів, що при розрахункових значеннях подачі і напору води забезпечать мінімальні показники енергоспоживання.

**Основна частина.** Для прикладу розглянемо різні випадки сумісної роботи нерегульованого та регульованого насоса і трубопроводної системи в безбаштовій водопровідній мережі (рис. 1).

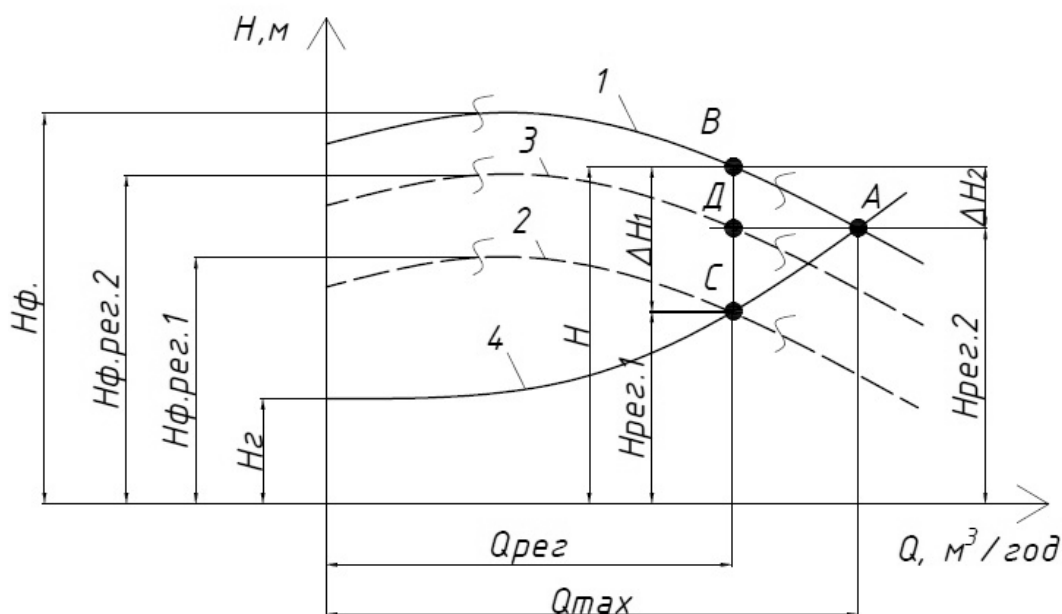


Рис.1. Графіки сумісної роботи гідравлічно взаємодіючих споруд:  
 1 – характеристика  $Q$ - $H$  нерегульованого насоса; 2 – те ж, регульованого насоса;  
 3 – те ж, регульованого насоса при  $H_p = \text{const}$ ;  
 4 – трубопроводної системи

Робочою точкою сумісної роботи споруд водопровідної системи буде точка  $A$ , що утворена при перетині ліній 1 та 4 характеристик насоса і трубопроводів.

Використовуючи значення аналітичних характеристик  $H_\phi$  та  $S_\phi$  з графіка 1, напір насоса  $H$ , м, при зміні витрати  $Q$  можна визначити з рівняння [2]:

$$H = H_\phi - S_\phi Q^2. \quad (1)$$

Графік 4 будують, знаючи величину узагальненого гідравлічного опору водопровідної системи  $S_y$  (комунікацій насосної станції, водоводів і мереж) та геометричну висоту водопідйому  $H_2$ . Потрібний напір насоса, м, для забезпечення в диктуючій точці мережі розрахункового тиску при зміні водоспоживання  $Q$  визначають за формулою:

$$H = H_2 + S_y Q^2. \quad (2)$$

Максимальна подача насоса при розрахунковому напорі  $H_p$ , необхідному для підтримання потрібного вільного напору в диктуючій точці в години найбільшого водоспоживання з мережі, становитиме  $Q_{max}$  (рис. 1). При зменшенні водорозбору до величини  $Q_{pez}$  нерегульований насос створить в системі надлишковий напір величиною  $\Delta H_l$ , а робоча точка зміститься в положення  $B$ . У цьому випадку, окрім збільшення витоків і зростання загрози створення аварійних ситуацій на мережі і водоводах, на насосній станції спостерігаються значні перевитрати електроенергії.

Як відомо, потужність, що споживається на валу нерегульованого насоса, кВт, можна визначити за формулою:

$$N = \frac{QH}{102\eta}, \quad (3)$$

де  $Q$ ;  $H$  і  $\eta$  – відповідно подача, л/с, напір, м, і ККД, в долях одиниці, даного насоса.

Щоб усунути надлишкові напори при зменшенні водоспоживання з мережі в системах водопостачання дедалі ширше почали застосовувати частотне регулювання насосів шляхом зміни частоти обертання їх робочих коліс, що здійснюють за допомогою встановлених на насосних станціях частотних перетворювачів струму.

У разі регулювання досліджуваній насос (рис. 1) при подачі води  $Q_{pez}$  створив би в системі напір  $H_{pez.1}$ , гідравлічна характеристика насоса  $Q$ - $H$  зайняла б положення 2 з робочою точкою  $C$ . При цьому в диктуючій точці мережі було б забезпечено потрібний вільний напір при значно меншому енергоспоживанні.

У такому випадку частоту обертання робочого колеса регульованого насоса,  $хв^{-1}$ , можна визначити за формулою:

$$n_{pez} = n \sqrt{\frac{H_{\phi,pez}}{H_{\phi}}} = n \sqrt{\frac{H_{\phi} - \Delta H}{H_{\phi}}}, \quad (4)$$

де  $n$  – частота обертання робочого колеса насоса за каталогом (нерегульованого),  $хв^{-1}$ ;  $H_{\phi}$  і  $H_{\phi,pez}$  – аналітична напірна характеристика насосу при нульовій подачі, м;  $\Delta H$  – надлишковий напір насоса, м.

Подачу і напір регульованого насоса визначають, користуючись залежностями:

$$Q_{pez} = Q \left( \frac{n_{pez}}{n} \right); \quad (5)$$

$$H_{pez} = H \left( \frac{n_{pez}}{n} \right)^2. \quad (6)$$

При відомому значенні подачі величиною  $Q_{pez}$ , що дорівнює водоспоживанню з мережі, споживана на валу регульованого насоса потужність, кВт, визначається за формулою:

$$N_{pez} = N \left( \frac{n_{pez}}{n} \right)^2 = N \left( \frac{H_{\phi} - \Delta H}{H_{\phi}} \right). \quad (7)$$

Враховуючи, що водоспоживання протягом доби весь час змінюється, то це призводить до зміни потрібних показників як витрати, так і напору насоса. Регулювати насоси за цими двома показниками дуже складно, а тому на насосних станціях, як правило, регулювання насосів здійснюють, приймаючи постійним значення розрахункового напору ( $H_p = \text{const}$ ), визначеного для  $Q_{max}$ .

У цьому випадку при подачі  $Q_{рег}$  і напорі  $H_p = H_{рег.2}$  характеристика насоса (рис. 1) займе положення 3, робочою буде точка  $D$ , надлишковий напір знизиться на величину  $\Delta H_2$ , а споживана на валу насоса потужність визначатиметься за формулою:

$$N_{рег} = N \left( \frac{n_{рег}}{n} \right) = N \sqrt{\frac{H_{\phi} - \Delta H}{H_{\phi}}} . \quad (8)$$

Користуючись вищеведеними залежностями, можна визначити необхідні робочі параметри насосів при зменшенні водоспоживання та аналізувати результати розрахунків енергоспоживання при роботі регульованих та нерегульованих насосів.

В безбаштових системах водопостачання для забезпечення ефективної роботи насосних станцій при різних режимах водоспоживання доволі часто застосовують різнотипні насоси. При цьому, враховуючи, що встановлення частотно-регульованого електроприводу є досить дорогим заходом, для економії коштів у разі реконструкції насосної станції іноді встановлюють один електропривод на групу з 2-3 насосів [5]. Проте практика експлуатації свідчить, що в цьому випадку можуть виникати кавітаційні процеси, підвищуються динамічні навантаження на підшипники і вали насосів, зменшується ККД і зрештою знижується енергоефективність роботи системи в цілому. Дослідження показали [1, 3 – 6], що при такій схемі нерідко насос з частотним регулюванням опиняється в неприпустимій робочій області, в результаті чого фіксуються нерівномірні додаткові шуми і вібрація, яка викликає передчасне зношування деталей насоса і вихід його з ладу. Такі процеси особливо характерні для області низької продуктивності насоса в разі, коли напірна характеристика має від'ємний нахил.

Розглянемо паралельну роботу різнотипних насосів на такому прикладі (рис. 2). У випадку, коли водорозбір в системі  $Q_c$  незначно перевищує максимальну подачу нерегульованого насоса  $Q_{б.1}$ , подача іншого регульованого насоса  $Q_{м.1}$  може при заданому розрахунковому напорі  $H_p$  опинитися поза межами рекомендованого застосування, а в разі перебування робочої точки на низхідному проміжку кривої 5 буде спостерігатися нестабільна робота насоса, що пришвидшує спрацювання його деталей. Тому при реконструкції насосних станцій бажано передбачати частотне регулювання для всієї групи встановлених насосів і при установці режимів роботи забезпечувати подачу кожного насоса (рис. 2) в його робочому діапазоні ( $Q_{б.2}$  і  $Q_{м.2}$ ), що сприяє безперебійному функціонуванню агрегатів з високими показниками ККД.

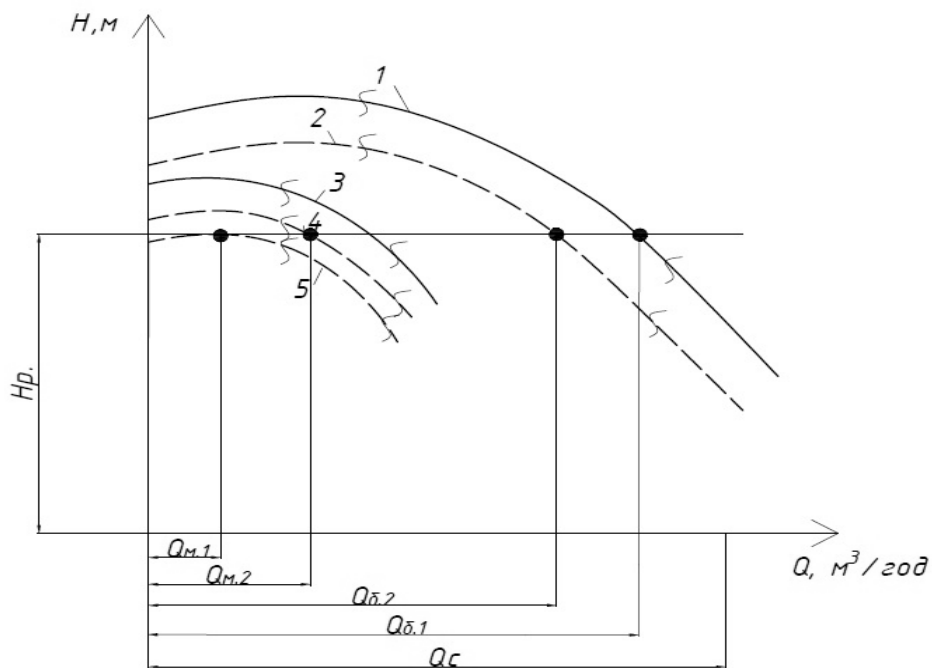


Рис.2. Графічні характеристики  $Q-H$  двох різнотипних відцентрових насосів:  
 1 – більшого нерегульованого насоса; 2 – те ж, регульованого;  
 3 – меншого нерегульованого насоса; 4, 5 – те ж, регульованого

Як показали дослідження, проведені на діючих водопровідних системах [1, 5], регулювання насосів дозволяє знизити споживання електроенергії в середньому на 25-30%, що значно зменшує експлуатаційні витрати комунальних підприємств.

Слід пам'ятати, що при дослідженні сумісної роботи насосів необхідно обов'язково перевіряти чи знаходиться подача кожного працюючого насоса в зоні його рекомендованого застосування. Досліджуючи різні можливі варіанти роботи насосної станції при кожному розрахунковому значенні водоспоживання, можна встановити оптимальний режим та робочі показники насосів, при яких забезпечується найменше споживання електроенергії.

Таким чином, оптимізувавши роботу насосної станції в безбаштовій водопровідній системі та автоматизувавши процеси управління залежно від зміни водоспоживання протягом доби, можна забезпечити розрахункові напори в диктуючих точках мережі та витрати води на потреби населеного пункту з мінімальним енергоспоживанням.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Зміна норм і режимів водоспоживання в населених пунктах та характеристик водопровідних споруд гідравлічної взаємодії протягом тривалої експлуатації призводять до ситуації, коли частина споживачів не забезпечується потрібними витратами і напорами води, а робота діючого насосного обладнання перебуває поза межами рекомендованого застосування, тобто з низькими ККД і високим енергоспоживанням. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є реконструкція насосних станцій, встановлення насосів із частотним регулюванням та автоматизація процесів управління водопровідною системою.

Представлені залежності дозволяють визначати параметри роботи регульованих та нерегульованих насосів, аналізувати результати розрахунків системи при різних можливих варіантах експлуатації споруд та визначати оптимальні режими роботи різнотипних насосних агрегатів з найменшим енергоспоживанням. Застосування частотного регулювання насосів та підбір економічно доцільних режимів їх роботи дають можливість знизити споживання електроенергії на водопровідних насосних станціях в середньому на 25-30%.

### Література

1. *Хомутецька Т. П.* Способи енергозбереження у водопостачанні / *Т. П. Хомутецька* // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук-техн. зб. Вип.24. – К.: КНУБА, 2014. – С.257–264.
2. *Хоружий П. Д.* Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений / *П. Д. Хоружий*. – Львов : Вища школа, изд-во при Львов. ун-те, 1983. – 152с.
3. *Лезнов Б. С.* Работа центробежных насосов с переменной частотой вращения / *Б. С. Лезнов, С. В. Воробьев* // Водоснабжение и санитарная техника, 2012, №9. С.48–56, №11. – С.44 – 49.
4. *Багаев Ю. Г.* Параллельная работа насоса с частотно-регулируемым электроприводом / *Ю. Г. Багаев, Н. В. Карпов, А. П. Усачев* // Водоснабжение и санитарная техника, 2014, №4. – С.38–41.
5. *Шкінь О. М.* Шляхи енергозбереження в системах господарсько-питного водопостачання на прикладі Чернігівського водопроводу / *О. М. Шкінь Т. П. Хомутецька, П. Д. Хоружий* // Водне господарство України, № 2 (104), 2013. – С. 18–22.
6. *Никитин А. М.* Особенности частотного регулирования параллельно работающих насосов / *А. М. Никитин, А. В. Балыгин, Г. И. Шустова., И. М. Яковлев* // Водоснабжение и санитарная техника, 2014, №4. – С.42–44.

### ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СООРУЖЕНИЙ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ И НЕРЕГУЛИРУЕМЫМИ НАСОСАМИ В БЕЗБАШЕННОЙ СИСТЕМЕ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

*Мосейчук Я. Б., Хомутецкая Т. П.*

В статье исследованы различные случаи работы безбашенной водопроводной системы с регулируемыми и нерегулируемыми насосами, проанализированы особенности параллельной работы разнотипных насосов, приведены зависимости для определения показателей работы насосных агрегатов, рассмотрена эффективность применения частотных преобразователей в системах водоснабжения.

**RESEARCH COMPATIBLE OF STRUCTURES WITH ADJUSTABLE AND UNREGULATED PUMPS IN THE WATER SUPPLY WITHOUT TOWER**

*Yaroslava B. Mosiichuk, Tetiana P. Khomutetska*

The article examined various cases of regulated and unregulated water supply pumping station units. It was analyzed the peculiarities of parallel operation due to the different types of pumps. It was show the dependences to determine the performance the performance of pumping units. Efficiency of frequency converters in water system was researched.