

С.О. ХОВАНСЬКИЙ, асистент, СумДУ, Суми

МЕТОДИКА ВИБОРУ НАСОСНОГО АГРЕГАТУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТУПЕНЯ НЕРІВНОМІРНОСТІ ВОДОСПОЖИВАННЯ

Наведено методику підбору насосного обладнання, за умови забезпечення мінімально можливого рівня енергоспоживання, та визначені діапазони застосування різних видів регулювання в залежності від ступеня нерівномірності водоспоживання.

Приведена методика подбора насосного оборудования, при условии обеспечения минимально возможного уровня энергопотребления, и определены диапазоны применения различных видов регулирования в зависимости от степени неравномерности водопотребления.

A method for selection of pumping equipment, subject to the lowest possible energy consumption and define the application of various types of regulation depending on the degree of irregularity of water consumption.

Вступ. Питання енергозбереження на сьогодні є актуальними, особливо для житлово-комунального господарства (ЖКГ), яке за обсягами споживання енергоносіїв посідає третє місце в Україні після енергетики та металургії. Системи подачі і розподілу води (СПРВ) належать до найбільш енергоємних об'єктів ЖКГ країни, де основними споживачами електроенергії є насосні установки [1]. Частка енергії, що споживається проводом насосу, за різними джерелами оцінюється від 18 до 22 % використаної в промисловості електроенергії [2].

Традиційно зменшення енергоспоживання окремого насоса досягається за рахунок підвищення його коефіцієнта корисної дії (ККД). Багаторічний досвід досліджень, розробки і виробництва насосів провідними компаніями світу забезпечує сьогодні досить високе значення цього показника в оптимальному режимі роботи насоса. Тому, очікувати суттєвого зниження енергоспоживання за рахунок підвищення ККД не варто. Дослідженнями вітчизняних і закордонних фахівців показано, що, у зв'язку з нерівномірністю водоспоживання в ЖКГ, насоси працюють лише до 30 % часу своєї роботи в зоні оптимального ККД [3]. Таким чином, висока економічність насосних агрегатів практично нівелюється низькою ефективністю їх роботи на нерозрахункових режимах в СПРВ ЖКГ.

Аналіз літературних джерел. У напрямку оптимального вибору параметрів насосного агрегату в залежності від нерівномірності водоспоживання вітчизняними та закордонними науковцями проведено значну кількість досліджень [1 – 10]. Проте, ця інформація носить розрізнений характер і не дозволяє однозначно підібрати насосне обладнання залежно від характеру нерівномірності водоспоживання. Так в [1, 4] зазначається, що при відсутності регулюючих ємностей, для насосних станцій II підйому необхідно обирати насоси з оптимальною подачею рівною 6,2 %

добової втрати води, що є максимальним значенням добового водоспоживання. Авторами роботи [5] пропонується максимальне добове водоспоживання уточнити коефіцієнтом, що враховує витрати води на власні потреби насосної станції ($K_{нс} = 1,04 - 1,2$) та на власні потреби водоводів ($K_{тр} = 1,02 - 1,08$). Отже, незважаючи на те, що сам факт нерівномірності водопостачання констатується в дослідженнях різних авторів, при виборі насосного обладнання розрахунки проводяться виключно на максимальний режим водоспоживання, а, в деяких випадках, це значення збільшується уточнюючими коефіцієнтами. Такий підхід до вибору параметрів насосного обладнання створює високий рівень енерговитрат, які обумовлені встановленням обладнання завищеної потужності.

Мета роботи. Метою роботи є розробка методики підбору насосного обладнання в залежності від ступеня нерівномірності водоспоживання, при забезпеченні мінімального рівня енергоспоживання.

Впорядкована діаграма водоспоживання. Ефективність роботи насосного обладнання суттєво залежать від режимів водоспоживання. Як правило, режими водоспоживання визначаються багатьма, незалежними одна від одної, причинами: кліматичними, погодними, культурно-соціальними умовами, режимами роботи підприємств тощо. Режими водоспоживання характеризуються, зазвичай, добовими, місячними, річними графіками водоспоживання. При проектуванні і експлуатації СПРВ задаються деякими нормованими графіками відбору води впродовж доби, року тощо. Нормовані графіки водоспоживання (отримані на основі вивчення та аналізу фактичних режимів водоспоживання населених пунктів), характеризуються наступними коефіцієнтами, які приймаються відповідно до СНіП 2.04.02–84 [6]: β , який враховує чисельність мешканців у населеному пункті; α , який враховують ступінь благоустрою будинків, режими роботи підприємств тощо; коефіцієнтами сезонної та добової нерівномірності K . Так на рис. 1, а представлений нормований добовий графік водоспоживання мікрорайону з числом мешканців біля 5 тис. чол.

При дослідженні режимів роботи насосних установок за тривалий проміжок часу добовими графіками водоспоживання користуватися не зручно, оскільки вони суттєво відрізняються один від одного за днями тижня, порами року тощо. Їх практично неможливо описати математичними залежностями. З цих причин для аналізу режимів роботи насосних установок в роботі [7] пропонується користуватися впорядкованими діаграмами водопостачання. Під впорядкованою діаграмою водопостачання розуміється крива, що сполучає розташовані у порядку зростання ординати добових графіків водопостачання за проміжок часу, наприклад, рік, місяць, добу.

Для розробки універсальної методики визначення оптимального складу і параметрів насосної установки запропоновано використовувати впорядковані діаграми водопостачання в безрозмірних координатах. Побудова впорядкованої діаграми водоспоживання в безрозмірних координатах базується на наступних позиціях: площа під впорядкованою діаграмою дорівнює 1, а вісь абсцис змінюється в проміжках $[0, 1]$.

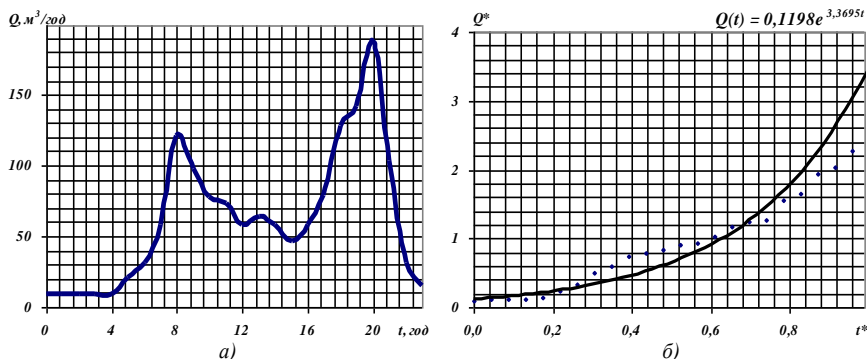


Рисунок 1 – Добова нерівномірність водоспоживання мікрорайону з числом мешканців біля 5 тис. чол.: а) фактична; б) впорядкована діаграма

Отже значення по осі абсцис впорядкованої діаграми визначається як:

$$t^* = \frac{t}{t_k - t_n},$$

де t^* , t – поточне значення моменту часу впорядкованої діаграми та графіку водоспоживання; t_n , t_k – поточне та кінцеве значення моменту часу на графіку водоспоживання.

Значення по осі ординат впорядкованої діаграми визначається як:

$$Q^* = \frac{Q(t_k - t_n)}{\int_{t_n}^{t_k} Q(t) dt},$$

де Q , Q^* – поточне значення водоспоживання та поточне значення відносного водоспоживання впорядкованої діаграми.

В роботі [7] показано, що впорядковану діаграму водоспоживання можна апроксимувати експоненціальною функцією типу $Q(t) = ae^{bt}$, де a і b – коефіцієнти апроксимації, що характеризують графік добового водоспоживання. При цьому, загальний обсяг спожитої води V (m^3) визначається як

$$V = \int_{t_n}^{t_k} Q(t) dt = \int_{t_n}^{t_k} ae^{bt} dt.$$

Інтегруючи останній вираз маємо

$$V = \frac{ae^{bt_k}}{b} - \frac{ae^{bt_n}}{b}.$$

Враховуючи початкові припущення, що $V = 1$, $t_n = 0$, $t_k = 1$, залежність водоспоживання від часу на впорядкованій діаграмі визначається як

$$Q(t) = ae^{bt} = \frac{b}{e^b - 1} e^{bt}.$$

На рис. 1, б представлена впорядкована діаграма водоспоживання мікрорайону з числом мешканців біля 5 тис. чол. та визначена залежність $Q = f(t)$ за методикою, викладеною вище. В роботі [7] наведена методика побудови впорядкованої діаграми водоспоживання та визначена залежність $Q = f(t)$ для отриманого експериментально графіку добового водопостачання.

В роботі [8] виконано системний аналіз функціонування СПРВ, на основі якого встановлено, що споживач має власну характеристику в координатах $H = f(Q)$, функціонування системи націлене на забезпечення вказаної характеристики. Отже, параметри потоку на виході із системи є об'єктом регулювання, а можливість забезпечення характеристики споживача є умовою придатності різних способів регулювання. При розгляді всіх можливих способів зміни режиму роботи насоса встановлено, що: частина з них є не способами регулювання, а способами налаштування насоса на конкретні параметри (підрізка робочого колеса, затилровка тощо); частина – непридатна за динамічними характеристиками або глибиною регулювання (зміна кутів установки лопаток випрямляючих та направляючих апаратів, наповнення та опорожнення муфти тощо); частина – не дозволяє підтримувати у споживача тиск у заданому діапазоні. Придатними, у цьому випадку, є регулювання зміною кількості одночасно працюючих насосних агрегатів (далі ступеневе регулювання) та зміною частоти обертання робочого колеса насоса (далі частотне регулювання).

Середньоексплуатаційний ККД. В роботах [7, 9, 10] досліджені способи підвищення середньоексплуатаційного ККД насоса за рахунок зміщення оптимального режиму роботи насоса в зону найбільш тривалих режимів водоспоживання, відслідковування режимів водоспоживання шляхом регулювання частоти обертання робочого колеса насоса та зміни кількості одночасно працюючих насосів. Так, в роботі [7] запропонована удосконалена методика вибору параметрів одного насоса, що працює в СПРВ ЖКГ, що передбачає мінімальне споживання електроенергії приводу насосу та встановлено: різним значенням ступеня нерівномірності водоспоживання відповідають різні значення номінальної подачі при забезпеченні мінімального енергоспоживання; визначено, що найменший рівень енергоспоживання, при роботі одного насоса, можна отримати за умови мінімально можливої крутизни напірної характеристики насоса. В роботі [9] встановлено, що мінімальне енергоспоживання при регулюванні частоти обертання робочого колеса одного насоса можна отримати за умови наявності максимально можливої крутизни напірної характеристики насоса. В роботі [10] встановлено, що кількість насосних агрегатів, при регулюванні кількістю одночасно працюючих насосних агрегатів, має оптимальне значення, отримане шляхом мінімізації приведених дисконтованих витрат на будівництво та експлуатацію насосної станції (для насосних станцій 3-го підйому оптимальне значення складає три насосні агрегати), визначений оптимум у три насосні агрегати співпадає, як для максимального, так і мінімального режимів водоспоживання.

Залежність ККД від часу роботи насосної установки (при ступені нерівномірності $b = 3$, що характерний для мікрорайонів з числом мешканців біля 5 тис. чол.) при виборі насоса на максимальне значення водоспоживання ($Q_{\text{опт}} = Q_{\text{max}}$), при виборі насоса на оптимальну подачу (відповідно до методики, представленої в роботі [7] $Q_{\text{опт}} = 0,6Q_{\text{max}}$), при частотному регулюванні насоса (відповідно до методики, представленої в роботі [9]), при ступеневому регулюванні (в зазначених умовах це 3 насосні агрегати відповідно до методики, представленої в роботі [10]), представлено на рис. 2. Аналіз рис. 2. показує, що при виборі насоса на максимальне значення водоспоживання середньоексплуатаційний ККД становить $0,47\eta_{\text{опт}}$, при виборі ж насоса на оптимальну подачу середньоексплуатаційний ККД збільшується на 21% і становить $0,56\eta_{\text{опт}}$, при частотному регулюванні – збільшується на 31% і становить $0,61\eta_{\text{опт}}$, при ступеневому регулюванні насосної установки – збільшується на 71% і становить $0,80\eta_{\text{опт}}$.

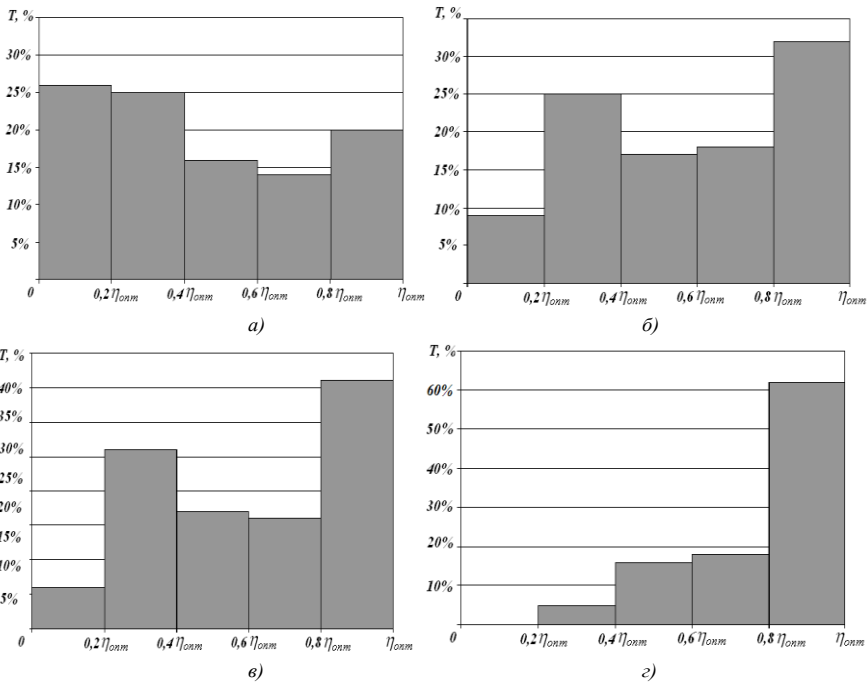


Рисунок 2 – Залежність ККД від часу роботи насосної установки при ступені нерівномірності $b = 3$: а) при виборі насоса на максимальне значення водоспоживання; б) при виборі на оптимальну подачу; в) при регулюванні зміню частоти обертання робочого колеса насоса; г) при регулюванні зміню кількості одночасно працюючих насосних агрегатів

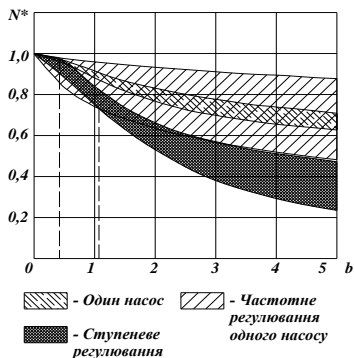


Рисунок 3 – Залежність відносного енергоспоживання N^* від ступеня нерівномірності водоспоживання b при різних способах регулювання

$b = 1,18 - 5$.

Висновки: 1. Розроблена методика вибору насосного агрегату для гідравлічних мереж зі змінним опором.

2. Визначені діапазони застосування різних видів регулювання в залежності від ступеня нерівномірності водоспоживання.

3. Всі запропоновані способи в умовах нерівномірності водоспоживання сприяють підвищенню середнього експлуатаційного ККД.

Список літератури: 1. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація. Підручник. – "Кондор", 2007. – 288 с. **2.** Europump / Variable Speed Pumping. A Guide to Successful Applications // Hydraulic Institute and Europump. Published by Elsevier Ltd. – 2004. – 172 p. **3.** Твердохлеб И.Б. Повышение экономичности и надежности насосного оборудования // Материалы V Международной конференции "СИНТ'09". – Воронеж: Научная книга, 2009. – С. 175 – 177. **4.** Белан А.Е. Технология водоснабжения. – К.: Наук. думка, 1985. – 265с. **5.** Водоснабжение населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. И.А. Назаровой. Изд 2-е, перераб. и доп. [справочник] М.: Стройиздат, 1977. – 268 с. **6.** Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – [Действительный от 1985–01–01]. – М.: Госстандарт СССР, 1985. – 204 с. **7.** Хованський С.О., Неня В.Г. Підбір насоса при його роботі на мережу зі змінним опором у часі // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/9(45). – С. 47 – 49. **8.** Хованський С.О., Неня В.Г. Системний аналіз комплексу подачі і розподілу води в житлово-комунальному господарстві // Східноєвропейський журнал передових технологій. – 2010. – № 4/4(46). – С. 56 – 59. **9.** Бойко В.С., Неня В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. Аналіз частотного регулювання відцентрових насосів водопостачання з метою енергозбереження // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – № 4/2009 (57). Частина 1. – С. 168 – 171. **10.** Євтушенко А.О., Неня В.Г., Сотник М.І., Хованський С.О. Визначення оптимального складу насосної станції системи комунального водопостачання // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 4/2008 (51). Частина 1. – С. 158 – 162.

Надійшла до редколегії 30.08.2010