

Т.П.ХОМУТЕЦЬКА, кандидат технічних наук

Г.А.СИЗОНЕНКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ЕНЕРГООЩАДНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ: ПРОБЛЕМИ І РІШЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ЧЕРНІГІВСЬКОГО ВОДОПРОВОДУ)**

*Досліджено проблеми енергоощадної роботи споруд водопровідних систем та розглянуто шляхи їх вирішення на прикладі водопостачання міста Чернігова.*

**Ключові слова:** водопостачання; питома витрата електроенергії; свердловина, водоспоживання; насосна станція; водопровідна мережа.

*Исследованы проблемы энергосберегающей работы сооружений водопроводных систем и рассмотрены пути их решения на примере водоснабжения города Чернигова.*

**Ключевые слова:** водоснабжение; удельный расход электроэнергии; скважина; водопотребление; насосная станция; водопроводная сеть.

*In the article deals the problems energy-saving operation constructions of water supply systems and considered ways their solution by the example of water supply in Chernigov.*

**Keywords:** water supply; the specific consumption of electricity; borehole; water consumption; pumping station; water network.

Нині водоканали переважної більшості населених пунктів України дедалі гостріше відчувають проблеми, пов'язані з погіршенням якості води в джерелах водопостачання, недостатньою ефективністю роботи водоочисних споруд, застосуванням застарілих технологій водопідготовки та вторинним забрудненням води через зношеність водоводів і водопровідних мереж. Все це призводить до складності забезпечення якості питної води у споживачів, що відповідала б новим більш жорстким нормативам [1]. Високі порівняно з іншими європейськими країнами питомі витрати електроенергії на подачу води в Україні впливають на формування високої собівартості отримання 1 м<sup>3</sup> води. При цьому, як показує досвід експлуатації, не завжди вдається гарантувати достатній ступінь надійності та безперебійності роботи водопровідних систем і забезпечити споживачів потрібною кількістю води належної якості під необхідним напором. Дослідимо причину цих явищ та розглянемо шляхи подолання подібних проблем на прикладі роботи комунального підприємства "Чернігівводоканал".

Історія чернігівського водопроводу налічує 130 років, що всього на 10 років менше ніж київського. Від початку централізованого водопостачання у 1883 р. до недавнього часу подача води водопровідними лініями Чернігова постійно зростала: якщо у 1904 р. вона вимірювалась у відрах і становила 50 тис. відер за добу, то в 1962 р. зросла до 24 тис. м<sup>3</sup>/добу, в 1975 р. збільшилась до 49 тис. м<sup>3</sup>/добу, а в 1995 р. досягла максимальних значень – 106,6 тис. м<sup>3</sup>/добу [2]. Після цього з низки причин водоспоживання почало поступово знижуватись.

У минулому столітті спостерігався бурхливий розвиток промисловості, що супроводжувався інтенсивним зростанням населення міста (1913 р. – 32 тис.; 1939 р. – 69 тис.; 1979 р. – 159 тис.; 2001 р. – 304 тис. чоловік). Він перетворив Чернігів з торгово-ремісничого міста на великий промисловий центр, де працювали підприємства (5 всесоюзного значення) хімічної, харчової, легкої промисловості, будівельних матеріалів, деревообробної галузі. З приходом ринкової економіки і зміною форм власності ситуація кардинально змінилася. Нині підприємства переживають не кращі часи – вітчизняні товаровиробники з появою імпортних товарів не витримують конкуренції і змушені скорочувати обсяги виробництва, змінювати профіль діяльності або й взагалі припиняти випуск продукції. Так, чимало підприємств доведені до банкрутства, а тисячі працівників втратили роботу.

Не сприяє збільшенню обсягів водоспоживання і складна демографічна ситуація – Чернігівська область вже багато років є лідером по темпам скорочення населення в Україні. Кількість мешканців міста за період 1995-2013 рр. скоротилася з 314,0 до 296,1 тис. чоловік.

Більш економічному і раціональному використанню води споживачів сприяє встановлення лічильників. Так, серед 117,5 тис. абонентів підприємства "Чернігівводоканал" 52% мають прилади обліку води [2].

Всі ці чинники призвели до того, що лише за останні роки в Чернігові споживання води промисловістю зменшилось на 30%, бюджетними організаціями – на 10% і населенням – на 3-4%. Якщо в 2005 році річне водоспоживання в місті сягало 30,5 млн. м<sup>3</sup>, то за 7 років воно скоротилося на 24% і в 2012 році становило всього 23,2 млн. м<sup>3</sup> води.

Зниження водоспоживання у поєднанні зі зношеністю основних фондів, що перевищила 60%, а також застосування застарілого обладнання з високою енергоємністю призвело до виникнення на водоканалі серйозних проблем, на яких варто зупинитися детальніше.

Для забезпечення споживачів водою на 4 водозабірних майданчиках Чернігова ("Ялівщина", "Подусівка", "Бобровиця" і "Полуботки") у різні роки були пробурені 97 свердловин загальною потужністю 128 тис. м<sup>3</sup>/добу, 64% з яких вже виробили термін експлуатації. 63 свердловини глибиною 100...120 м забирають воду, що потребує очищення, з бучацького водоносного пласта, а 34 високодебітні свердловини (видобутком 68% загального обсягу) подають високоякісну воду з глибини 680...760 м із нижньокрейдового водоносного горизонту. У свердловинах були встановлені заглибні відцентрові насоси типу

ЭЦВ, деталі яких швидко зношуються. Гідравлічні і енергетичні характеристики таких насосів під час експлуатації значно змінюються, в результаті чого насоси починають працювати поза рекомендованими межами робочих параметрів, тобто з низькими ккд і великими перевитратами електроенергії. Як показує досвід, через рік-два експлуатації насоси типу ЭЦВ потребують заміни.

Водопровідна мережа Чернігова, що налічує 533,9 км, прокладена з труб діаметрами 25...700 мм із різних матеріалів: сталі, чавуну, ПВХ, залізобетону, азбестоцементу. У зношеному і аварійному стані перебуває 186,5 км або 34,9% від загальної протяжності мережі. Загалом понад 300 км трубопроводів у місті експлуатуються більше 25 років. Найстаріші ділянки мережі прокладались в далекому 1934 році, але основна частина старих трубопроводів будувались в 60-ті роки минулого століття [2].

У міську водопровідну мережу вода подається насосами другого підняття одночасно з чотирьох майданчиків, розташованих у різних кінцях міста, з таким середнім добовим розподілом: ВНС-1 "Ялівщина" – 12 тис. м<sup>3</sup>; ВНС-2 "Подусівка" – 18 тис. м<sup>3</sup>; ВНС-3 "Бобровиця" – 23,8 тис. м<sup>3</sup>; ВНС-4 "Полуботки" – 11,7 тис. м<sup>3</sup>. Для забезпечення споживачів водою у потрібній кількості під необхідним напором на насосних станціях були встановлені насоси з потужністю двигунів 640 кВт. Але в умовах значного і постійного скорочення водоспоживання таке насосне обладнання працювало з великими енергозатратами, створювало надлишкові тиски в мережі, що збільшувало аварійність трубопроводів і втрати води.

Окрім того, значною проблемою для водоканалу останнім часом стало зростання цін на енергоносії, які складають найбільшу частку при підрахунку собівартості води. Так, якщо вартість 1 кВт·год електроенергії для підприємства у 2002 р. становила 0,24 грн., у 2007 р. – 0,39 грн., то в 2011 р. сягнула 0,98 грн., а в 2012 р. досягла 1,136 грн. [2].

Така ситуація змусила керівництво чернігівського водоканалу шукати шляхи вирішення зазначених проблем. У 2005 році підприємство почало співпрацю зі Світовим банком в рамках реалізації проекту «Розвиток міської інфраструктури». Було проатестовано 175 підприємств водопостачання та водовідведення і за результатами атестації КП «Чернігівводоканал» був відібраний серед чотирьох водоканалів, які претендували на отримання кредиту Світового банку на 20 років під відсоткову ставку 5%. Це перший такий масштабний міжнародний проект в Україні, що включав реконструкцію водопроводу [2].

В ході реалізації проекту було замінено насосне обладнання на кожній ланці системи водопостачання від свердловини до споживача на всіх трьох рівнях водопідйому. Всього здійснили заміну 99 насосів на суму 6 млн. доларів США. Міжнародний тендер виграла компанія "Віло Україна", яка запропонувала обладнання з високою енергоефективністю, економічністю, мінімальними витратами на обслуговування, гарантійний та післягарантійний сервіс [3].

На водозабірних майданчиках було встановлено 55 свердловинних насосів марки Wilo, термін експлуатації яких становить 20 років. На шести артезіанських свердловинах дебітом близько 240 м<sup>3</sup>/год насоси з нестандартною напругою живлення 1 кВ (замість 3...15 кВ) опущено на глибину до 100 м. Вперше в Україні свердловини обладнано водопідйомними колонами з терміном служби до 50 років, що виконані із неіржавіючої сталі зі спеціальними швидкороз'ємними з'єднаннями. Встановлено розподільні шафи, витратоміри та супроводжувальна арматура. Насоси укомплектовано приладами керування з плавним пуском, що запобігає передчасному зношенню елементів системи та оптимізує роботу обладнання. Такі заходи дозволили значно підвищити енергоефективність роботи насосного обладнання і всієї системи подачі води з водозабірних свердловин в резервуари чистої води.

Для відновлення магістральних водопровідних мереж в рамках проекту було передбачено 8 млн. доларів США, що дало змогу здійснити заміну, а також санацію ділянок трубопроводів з використанням сучасної ефективної технології "панчохи". Така технологія передбачає протягування всередині попередньо очищеного струменем високого тиску трубопроводу, що ремонтується, спеціальної синтетичної панчохи. Після протягування попередньо підготовлена панчоха полімеризується в середовищі гарячої води певної температури або опромінюється ультрафіолетом, що забезпечує утворення на внутрішній поверхні трубопроводу, що ремонтується, міцного інертного шару труби регульованої товщини. Проведені заходи дозволили на 30% скоротити аварійність водопровідних мереж Чернігова (з 670 аварій у 2011 р. до 470 аварій у 2012 р.) та покращити якість питної води у споживачів. Крім того, значно скоротилися витрати води, які нині складають всього 21% (як в Італії та Франції) при допустимих нормою значеннях витоків 26,5%. Для порівняння: в середньому по Україні витрати з мереж становлять близько 40% [2, 3].

На чотирьох насосних станціях другого підйому нині встановлено 16 аксіальних насосів типу *Wilo SCP* з частотним регулюванням їхньої роботи. Завдяки точній відповідності максимального ккд насоса поточним параметрам мережі здійснено заміну двигунів потужністю 640 кВт на 140 кВт [3]. Сучасна автоматика дозволяє робити плавні переключення, підтримувати в мережі оптимальний тиск та регулювати роботу насосів залежно від водоспоживання, що забезпечує значну економію електроенергії та поліпшує умови сумісної роботи споруд водопровідної системи.

На насосних станціях третього підйому, призначених для підвищення тиску і забезпечення цілодобового водопостачання окремих груп будинків, встановлено блочні насоси типу *Wilo BL* з приладами електронного керування і використанням перетворювачів частоти струму для оптимізації роботи системи і зниження енергозатрат.

В цілому проведені в рамках проекту роботи забезпечили стабілізацію напору в водопровідній мережі, істотно зменшили кількість аварій і витоків та

знизили на 20% питомі витрати електроенергії в системі водопостачання, що в умовах невинного зростання вартості енергоресурсів є особливо актуальним.

Залишалось відкритим питання оптимізації роботи водозаборів при різних режимах водоспоживання. Оскільки сумарна подача води від усіх робочих свердловин водоканалу Чернігова становить 128 тис. м<sup>3</sup>/добу, а обсяги водоспоживання майже вдвічі менші і нині складають 65...69 тис. м<sup>3</sup>/добу, то існувала потреба добору таких режимів роботи водозабірних споруд, при яких споживачі були б забезпечені розрахунковими витратами води нормативної якості при найменших експлуатаційних затратах. На цьому етапі для виконання робіт був залучений Інститут водних проблем і меліорації НААНУ, в якому розроблено методики оптимізаційних розрахунків, що базуються на математичному моделюванні роботи гідравлічно взаємозв'язаних споруд в системах водопостачання [4-6].

Залежно від місця розташування свердловин відносно резервуара і топологічної схеми трасування трубопроводів будуть різними спільні ділянки напірного водоводу, що подає воду від різних свердловин до РЧВ. При визначенні подачі води з кожної окремої свердловини втрати напору на таких спільних ділянках залежать від сумарної подачі води від решти працюючих свердловин в даний момент, що наперед невідомо, а тому таку задачу можна вирішити шляхом ітерацій з використанням програм персонального комп'ютера [5, 6].

Дану методику було апробовано на чернігівському водопроводі, де на всіх водозабірних майданчиках було досліджено споруди системи водопостачання, проаналізовано характеристики, складено математичні моделі системи, виконано розрахунки при різних схемах подачі води і отримано оптимальні рішення.

Дослідження показали, що оптимізація роботи споруд на різних водозабірних майданчиках Чернігова дозволяє зменшити добове споживання електроенергії на 7...18,8%. В цілому по місту робота водозаборів за оптимальним графіком дає можливість на 11,5% знизити споживання електроенергії [4].

Користуючись запропонованою методикою, можна аналізувати результати розрахунків і оптимізувати роботу системи при будь-яких можливих варіантах (відключення з роботи однієї або кількох свердловин, заміна насосів, трубопроводів тощо). Це дає можливість вибирати найбільш доцільні та економічно вигідні режими роботи споруд при зміні водоспоживання протягом року і можливого перерозподілі води між різними насосними станціями міста, заощаджуючи кошти.

Через існуючий величезний надлишок електроенергії в нічні години доби наша держава шляхом запровадження багатозонних тарифів стимулює споживання електроенергії вночі. У результаті появи резерву водозабірних і регулюючих споруд на діючих водопроводах із-за зменшення

водоспоживання виникає можливість оптимізувати роботу системи з урахуванням різної вартості електроенергії у денні і нічні години доби, використовуючи розроблену методику розрахунків. Техніко-економічним порівнянням різних варіантів роботи системи на ВНС-4 "Полуботки" КП "Чернігівводоканал" встановлено, що найбільш економічно доцільною буде оптимізована робота споруд при застосуванні трьохзонних тарифів на енергоресурси; вартість спожитої за добу електроенергії при цьому 12,3% менша, ніж при використанні двохзонних тарифів, та 28% нижча, ніж при діючому нині одноставковому тарифі на електроенергію. Перехід на трьохзонні тарифи дає можливість на ВНС-4 "Полуботки" за рік заощадити понад 350 тис.грн. експлуатаційних витрат без вкладення коштів у капітальне будівництво.

Для забезпечення нормативної якості води із свердловин, які забирають її з бучацького горизонту, було запропоновано систему роздільної подачі води від різних водоносних пластів, враховуючи відмінність їхніх фізико-хімічних показників. Для цього воду, яка забирається з нижньокрейдового пласта, передбачається направляти безпосередньо в РЧВ, а з бучацького – на водоочисну станцію, що працює із застосуванням біологічних методів знезалізнення води і висхідним рухом потоку через плаваюче фільтрувальне завантаження. Таке рішення забезпечить високу якість питної води при невеликих капітальних і експлуатаційних витратах.

На чотирьох насосних станціях другого підняття м. Чернігова були проведені дослідження і розрахунки сумісної роботи насосів і безбаштової водопровідної мережі для кількох варіантів подачі води різними групами нерегульованих і регульованих насосів, які показали, що регулювання насосів дає змогу на різних насосних станціях зменшити витрату електроенергії на 20...30% [4,7]. Вибираючи оптимальний варіант роботи насосів із застосуванням частотного регулювання, можна в цілому на 29,7% знизити добове енергоспоживання, забезпечуючи при цьому розрахункові показники витрат і напорів води.

### **Висновок**

Водоканали багатьох населених пунктів України в умовах постійного зниження водоспоживання і значного зростання цін на електроенергію стикаються з проблемою ефективної та енергоощадної роботи споруд водопостачання. Вирішити цю проблему можна шляхом заміни чи відновлення зношених елементів системи, застосування нових ефективних технологій водоочистки, встановлення насосів із частотним регулюванням, переходу на розрахунок за багатозонними тарифами за споживану електроенергію, а також встановлення енергозберігаючих та найбільш економічно доцільних режимів роботи споруд при зміні водоспоживання, застосовуючи розроблену методику оптимізаційних розрахунків.

### Список літератури

1. *ДСанПіН 2.2.-4-171-10*. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затверджено наказом МОЗУ від 12.05.2010 № 400. Зареєстровано в МЮУ 1.07.2010 № 452/17747.
2. *Інформаційний ресурс*. <http://abvdk.cn.ua/cp2cmsa/w/pub/index>.
3. *Передовий досвід: реконструкція чернігівського водоканалу*/ Виробничо-практичний журнал: Водопостачання та водовідведення. – 2012. – № 4. – С.50-51.
4. *Заключний звіт НДР "Розробити рекомендації з покращення якості водопровідної води та зменшення питомих витрат електроенергії на її подачу в системах водопостачання КП "Чернігівводоканал"*. ІВПіМ НААН, Київ, 2012. – 117 с.
5. *Хоружий П.Д.* Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений. – Львов: Вища школа, 1983. – 152 с.
6. *Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
7. *Хомутецька Т.П.* Методика оптимізації роботи насосних станцій і безбаштової водопровідної мережі (на прикладі Чернігівського водопроводу) / Вісник ОДАБА: наук. видання. – 2012. – Вип.48. – С. 215-229.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2014