

- зменшити витрати на реагенти та експлуатацію реагентного господарства;
- спростити технологічну схему пом'якшення води шляхом виключення з неї освітлювачів із завислим шаром осаду;
- спростити експлуатацію споруд для пом'якшення води;
- зменшити енергозатрати, виключити використання насосного обладнання при проведенні промивки фільтрів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Water and Industry. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/water_industry.shtml.
2. Water In a Changing World. The United Nations World Water Development Report 3. World Water Assessment Programme / UNESCO publishing. – 2009. – 349 pp. - ISBN 978-9-23104-095-5.
3. Індекси промислової продукції в Україні у 2010-2016 рр. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
4. Жданова Г.В., Ковальчук Ю.Л., Полтаруха О.П., Толстенко Ю.В. Особенности водоподготовки при получении технической воды для Южно-Украинской АЭС // Вода: химия и экология. – Москва: ООО «ИД «Вода: химия и экология», 2011. – Вып. 1. – С. 19-23
5. Постійний технологічний регламент станції попередньої очистки води ВАТ «РІВНЕАЗОТ». – Рівне: ВАТ «РІВНЕАЗОТ», 2008. – 125 с.
6. Ковальчук В.А., Одуд Л.М. Застосування методу вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду в схемах водопідготовки промислових підприємств // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2016. Вип. 27. – С. 163-169
7. Орлов В.О. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки / В.О. Орлов, А.М., С.Ю. Мартинов. – Рівне: РДТУ, 1999. – 143 с.
8. Мартинов С. Ю. Знезалізнення води на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.04 «Водопостачання, каналізація» / Мартинов С. Ю. – Рівне, 2001. – 21 с.
9. Одуд Л.М. Застосування методу вапнування на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду для пом'якшення води // Науковий вісник будівництва: Збірник наукових праць. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2015. – Вип. 3(81). – С. 117-121.

УДК 628.1

Хомуцька Т.П., Сизоненко Г.А.

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПІДЗЕМНИХ ВОДНИХ ДЖЕРЕЛ

Аналіз сучасного стану енергоефективності в системах комунального водопостачання. Нині у галузі водопровідно-каналізаційного господарства одним із найважливіших завдань є забезпечення ефективного функціонування підприємств, що надають відповідні послуги споживачам, з гарантуванням високої надійності роботи системи і споруд, які входять до неї, якісного обслуговування і прийнятних показників собівартості води, ко-

трі багато в чому залежать від експлуатаційних витрат підприємств, насамперед, від витрати електроенергії на насосних станціях.

Відомо [1], що системи водопостачання і водовідведення є одними з найкрупніших енергоспоживачів в Україні, на які щорічно споживається понад 4 млрд. кВт·год електроенергії. Разом з тим, у комунальному господарстві використання електроенергії нині не можна назвати ра-

ціональним, оскільки близько 40% насосного обладнання є спрацьованим та експлуатується з низьким ККД. Крім того, за останні 25 років кількість аварій на водопровідних мережах збільшилась в 15 разів і становить 36% [1], внаслідок чого до 40% підготовленої води не доходить до споживачів, а в окремих регіонах країни витоки з мереж досягають 60% з величезними витратами матеріально-енергетичних ресурсів [2].

Внаслідок спрацювання насосного обладнання втрачається не менше 10% електроенергії, а внаслідок зниження пропускної здатності водопровідних ліній та створення локальних надлишкових напорів води втрачається додатково 10-12% електроенергії [3].

Оцінка енергоефективності систем водопостачання. Вперше поняття енергоефективності було запропоновано у роботі [4]. В основу розрахунків показників енергоефективності було покладено відносну зміну питомої витрати електроенергії порівняно з базовим варіантом. Такий підхід дає можливість оцінювати ефективність споживання електроенергії по окремим елементам і в цілому по системі водопостачання [5].

Енергоефективність – це мінімізація питомих витрат електроенергії при забезпеченні споживачів науково обґрунтованими витратами води та мінімізації непродуктивних втрат води на всьому шляху її транспортування від водного джерела до місць споживання.

Коефіцієнт енергоефективності визначається за формулою

$$K_{ef} = \frac{C_{ел.опт}}{C_{ел.баз}}, \quad (1)$$

де $C_{ел.опт}$ і $C_{ел.баз}$ – річна вартість електроенергії, відповідно при оптимальній роботі системи водопостачання та при базовому варіанті, тобто при фактичному стані її експлуатації, грн./рік.

Річна вартість спожитої електроенергії при базовому варіанті визначається за формулою

$$C_{ел.баз} = \frac{\gamma Q H}{102 \eta} T \sigma, \quad \text{грн./рік}, \quad (2)$$

де γ – питома вага води, що дорівнює 1 кг/л; Q – розрахункова витрата води, л/с; H – розрахунковий напір насоса, м; η – ккд насосного агрегату; T – кількість годин роботи насоса за рік, год/рік; σ – вартість 1 кВт·год спожитої електроенергії, грн./кВт·год.

Річна вартість електроенергії при оптимальній роботі системи водопостачання визначається за формулою

$$C_{ел.опт} = \frac{\gamma(Q - \Delta Q)(H - \Delta H)}{102(\eta + \Delta \eta)} \times T(\sigma - \Delta \sigma) \text{ грн./рік}, \quad (3)$$

де ΔQ – величина зменшення втрат води у водопровідних системах при її транспортуванні та непродуктивних витрат води при її споживанні та обслуговуванні споруд, л/с; ΔH – величина надлишкових напорів у водопровідній системі, м; $\Delta \eta$ – збільшення ккд насосного агрегату при його роботі в зоні рекомендованого застосування; $\Delta \sigma$ – зменшення тарифів за спожиту електроенергію при роботі насосів у нічні години, тобто не в години пік, у разі застосування багатозонних тарифів, грн./кВт·год.

Отже, коефіцієнт енергоефективності буде дорівнювати

$$K_{ef} = \frac{(Q - \Delta Q)(H - \Delta H)(\sigma - \Delta \sigma)}{QH(\eta + \Delta \eta)}, \quad (4)$$

а максимальна величина покращення енергоефективності роботи системи водопостачання становитиме

$$\Delta C_{ел.мах} = (1 - K_{ef}) \cdot 100\%. \quad (5)$$

Таким чином, для підвищення енергоефективності роботи систем водопровідно-каналізаційного господарства потрібно забезпечувати лише розрахункові значення витрат води та напорів насоса, зменшувати вартості електроенергії та підвищувати величину ккд насосного агрегата.

Для цього потрібно зменшувати втрати води на шляху її транспортування до споживачів, усувати надлишкові напори насоса, забезпечуючи його роботу в зоні найвищих значень ккд та в години найменшої вартості електроенергії.

На шляху транспортування води від водного джерела до споживачів в спорудах забору, підготовки, зберігання і транспортування води її втрати поділяються на технологічно необхідні (тобто обґрунтовані) та непродуктивні втрати і витрати.

На рис. 1 показано діаграму загального балансу води в системах водного господарства на всіх етапах її проходження від водного джерела до споживачів, з якої видно, що після кожної технологічної операції кількість води буде зменшуватись.

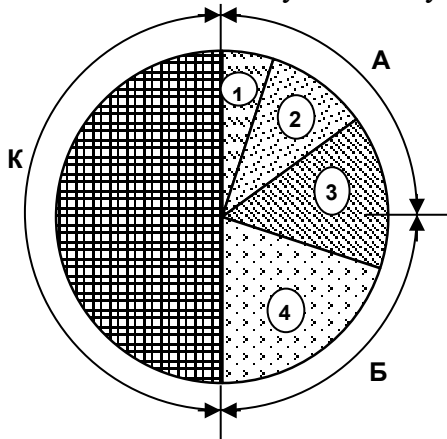


Рис. 1. Діаграма втрат води в системах водного господарства по технологічних операціях реалізації води:

- 1 – добування (5%); 2 – підготовка (10%);
- 3 – транспортування (15%); 4 – споживання (20%); А – технологічні втрати води; Б – витрати і нераціональне використання води; К – корисне водоспоживання

Перевищення об'єму води на кожному попередньому етапі пояснюється, з одного боку, необхідністю витрачання води на власні технологічні потреби водопровідного підприємства, а з іншого – втратами води. Собівартість води тим більша, чим більші витрати на її добування, підготовку і транспортування. Зменшення цих витрат підвищує економічні показники водогосподарської організації.

Величина кожної складової технологічних втрат води може бути різною в залежності від конкретних місцевих умов. Так, витрати води на обслуговування водоочисних споруд залежать від технологічної схеми очистки води і складу водоочисної станції, якості вихідної води тощо. Технологічні втрати при транспортуванні

води залежать від матеріалу і протяжності трубопроводів, строку їх служби, робочого тиску тощо.

Економічною комісією ООН для оцінки кількості води, яку потрібно забирати з водних джерел, запропонована така формула [6]

$$Q_{\text{дож}} = 0,001K_1K_2K_3K_{\text{доб}}qn + \sum Q_i, \text{ м}^3/\text{добу}, (6)$$

де K_1 – коефіцієнт, що характеризує втрати води між водним джерелом і водоочисною станцією, $K_1 = 1,01$, але його значення не повинно перевищувати 1,04-1,05; K_2 – коефіцієнт, що характеризує величину втрат води на станції водопідготовки, залежить від конкретних умов і знаходиться в межах 1,06-1,10 (за даними [7] $K_2 = 1,1-1,14$); K_3 – коефіцієнт, що характеризує втрати води між насосною станцією 2-го підняття і споживачами, залежить від різних факторів та дорівнює 1,1-1,4. Для розподільчої мережі, яка правильно і добре обслуговується, цей коефіцієнт становить 1,15-1,20; $K_{\text{доб}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, дорівнює 1,3-1,6; по [7] $K_{\text{доб}} = 1,1-1,3$; q – середньодобова норма водоспоживання, л/(доб·чол.); n – число жителів, чол.; $\sum Q_i$ – інші види водоспоживання, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Таким чином, сумарні технологічні втрати води допустимі в межах 22-35% від об'єму реалізації води, а фактично ці втрати можуть досягати 50% і більше від об'єму реалізації води.

Технологічні втрати води від джерела до насосної станції II-го підняття визначаються, в основному, технологічними схемами споруд, їх конструкціями, а також якістю води в джерелі. Основними заходами для зменшення технологічних втрат води в цьому ланцюгу водоподачі є:

- 1) забір води найкращої якості у водному джерелі (в центральній частині по глибині водойми);
- 2) застосування водозабірно-очисних споруд з метою попереднього очищення води безпосередньо у водному джерелі та попередження транспортування забруднень із крупних завислих речовин на водоочисну станцію;

3) застосування нових ефективних і економічних технологічних схем водопідготовки (використання аерації, біосорбції, сил гравітації, нових фільтруючих матеріалів);

4) удосконалення схем промивки водоочисних споруд і повторного використання промивних вод.

Зменшення втрат води у водорозподільних мережах можна досягти за рахунок постійного здійснення планово-попереджувальних оглядів, ремонту і реконструкції мереж, зміни їх схем, оптимізації роботи систем в гідродинамічних режимах, виходячи із стабілізації напорів і підтримання їх цілодобово на мінімально необхідному рівні.

Для усунення надлишкових напорів в системі водопостачання при зменшенні водоспоживання застосовують частотне регулювання частоти обертання робочих коліс насосів, що здійснюють за допомогою встановлених на насосних станціях частотних перетворювачів струму.

Частоту обертання робочого колеса регульованого насоса можна визначити за формулою [8, 9]:

$$n_{pez} = n \sqrt{\frac{H_{\phi,pez}}{H_{\phi}}} = n \sqrt{\frac{H_{\phi} - \Delta H}{H_{\phi}}}, \text{ хв}^{-1}, \quad (7)$$

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

Основним способом забезпечення населення та інших споживачів якісною питною водою при невеликій її собівартості є розширене використання підземних вод та впровадження енергоощадних технологій на всьому шляху від водоносного пласта до водоспоживача.

Для економного витрачання водних, матеріальних і енергетичних ресурсів необхідно виконувати оптимізаційні розрахунки сумісної роботи всіх взаємодіючих споруд в системі подачі і розподілення води з урахуванням зміни їх характеристик у процесі експлуатації системи. При заборі підземних вод доцільно користуватись розробленими методиками оптиміза-

ційних розрахунків [10-14], що дозволяють аналізувати роботу системи за будь-яких можливих варіантів (відключення з роботи деяких свердловин, заміна насосів, трубопроводів тощо) та вибирати найвигідніший варіант, при якому будуть найменшими питомі витрати електроенергії або експлуатаційні витрати комунального підприємства при використанні багатозонних тарифів за споживану електроенергію.

Висновки. Питома витрата електроенергії на подачу води в Україні значно вища ніж в інших європейських державах через низку причин. Для більшості діючих водопроводів характерними є велика зношеність основних фондів, застосування застарілого обладнання, робота насосів поза зоною їх рекомендованого застосування, тобто з низьким ККД і великим енергоспоживанням. Для усунення цих проблем необхідно реконструювати насосні станції, встановлюючи сучасні насоси з частотними перетворювачами і забезпечуючи автоматизацію процесів. З метою оптимізації режимів роботи гідравлічно взаємопов'язаних споруд подачі і розподілу води згідно водоспоживання розроблено методики, що дозволяють забезпечувати розрахункові показники подачі і напору води з мінімальними енерговитратами. Такі заходи дають можливість значно поліпшити енергоефективність роботи систем водопостачання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2010 році. – К.: МЖКГ України, 2011. – 564с.
2. Василенко С.Л. Структурирование водосберегающих и энергоэффективных мероприятий в системе энергоменеджмента водоканалов / С.Л.Василенко, С.И.Третьяков // 36. доповідей Міжнародного Конгресу «ЕТЕВК-2015». 8-12 червня 2015 р., м. Іллічівськ. – С.251-256.
3. Петросов В.А. Устойчивость водоснабжения / В.А.Петросов. – Х.: Фактор, 2007. – 360с.
4. Василенко С.Л. Энергоэффективность систем водоснабжения / С.Л.Василенко // Экология и здоровье человека. Охрана во-

- дною и воздушного бассейнов. Утилизация отходов. Сб. науч. трудов XIII междунар. науч.-техн. конф. 13-17 июня 2005г. – Х.: УкрВОДГЕО, 2005. – С.609-615.
5. Василенко С.Л. Оценочные показатели энергоэффективности систем централизованного водоснабжения / С.Л.Василенко // Интегровані технології та енергозбереження, 2005, № 3. – С.89-94.
 6. Кожинов Н.В., Добровольский Р.Г. Устранение потерь воды при эксплуатации систем водоснабжения. – М: Стройиздат, 1988. – 348с.
 7. ВБН 46/33-2.5-5-96. Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування. – К.: Держводгосп України. – 152 с.
 8. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534с.
 9. Хоружий П.Д. Расчет гидравлического взаимодействия водопроводных сооружений. – Львов: Вища школа, изд-во при Львов. ун-те, 1983, - 152с.
 10. Хомуцька Т.П. Оптимізація роботи водопровідних систем з водозабірними свердловинами // Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 71. – С.361-366.
 11. Хомуцька Т.П., Сизоненко Г.А. Енергоощадне водопостачання: проблеми і рішення (на прикладі Чернігівського водопроводу) // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук-техн. зб.– К.: КНУБА, 2014. – Вип.23. – С.53-59.
 12. Хомуцька Т.П., Сизоненко Г.А. Дослідження доцільності застосування багатозонних тарифів на електроенергію у водопостачанні // Меліорація і водне господарство.– К: ІВПіМ НААН, 2014. – Вип.101.
 13. Хомуцькая Т.П. Энергосберегающие технологии в системах подачи и распределения воды / Сб. научных трудов «Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства», Рязань, 2013, № 10. – С. 246-252.
 14. Шкіль О.М., Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П. Шляхи енергозбереження в системах господарсько-питного водопостачання на прикладі Чернігівського водопроводу // Водне господарство України. К., 2013. – № 2 (104),– С.18-22.

УДК 519.6:504.3.054

Беляев Н. Н. *, Русакова Т. И. **, Якубовська З. Н. ***

**Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, Днепр, Украина*

***Днепропетровский национальный университет им. Олесья Гончара, Днепр, Украина*

****Украинский государственный химико-технологический университет, Днепр, Украина*

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД

Постановка проблемы и анализ публикаций. Производственные сточные воды от технологических процессов многих отраслей промышленности содержат щелочи и кислоты, а также соли тяжелых металлов. На предприятиях черной металлургии, на машиностроительных и металлообрабатывающих заводах широко используется химическая обработка метал-

лов кислотами в процессе травления. В результате образуются кислые железосодержащие стоки, имеющие свободные кислоты, (преимущественно серную, иногда смесь кислот) и соли железа (в основном $FeSO_4$). Соли железа в результате гидролиза и окисления образуют осадки ржаво-рыжего цвета. При большом загрязнении в водоемах полностью исчезает органическая жизнь, вода становится непригодной