

ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗЕРВУАРА ЧИСТОЇ ВОДИ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА

В.С. Бойко, д-р техн. наук, професор;

М.І. Сотник*, канд. техн. наук, доцент;

С.О. Хованський*,

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ;

*Сумський державний університет, м. Суми

Розглядаються особливості водопостачання міста, у технологічному процесі якого задіяний резервуар чистої води між станціями II та III підйому. Наукові дослідження проведені з використанням сучасних методів математичного моделювання. Об'єктно-орієнтована модель системи водопостачання включає характеристики насосних агрегатів і параметри гідравлічної мережі. Дані моделювання використані для оцінки енергоефективності процесу водопостачання у денний та нічний період доби з використанням резервуара чистої води та без нього.

Ключові слова: модель системи водопостачання міста, математичне моделювання, енергоефективність.

Рассматриваются особенности водоснабжения города, в технологическом процессе которого используется резервуар чистой воды между станциями II и III подъема. Научные исследования проведены с использованием современных методов математического моделирования. Объектно-ориентированная модель системы водоснабжения включает характеристики насосных агрегатов и параметры гидравлической сети. Данные моделирования используются для оценки энергоэффективности процесса водоснабжения в дневное и ночное время суток с использованием резервуара чистой воды и без него.

Ключевые слова: модель системы водоснабжения города, математическое моделирование, энергоэффективность.

ВСТУП

Одним з основних чинників витрат на організацію водозабезпечення споживачів є витрати електричної енергії. У тарифах на водопостачання вони займають близько 50-60% від загальних витрат [1], тому оптимізація водопостачання з точки зору економії електричної енергії, що витрачається на роботу насосних агрегатів є нагальною потребою. Розвиток водопровідних мереж населених пунктів України відбувався у різні часи та за різних обставин, у деяких випадках енергоефективності подачі води не надавалося належної уваги. У технологічному процесі водозабезпечення міст питною водою використовуються резервуари чистої води (РЧВ) як накопичувальні ємності, що згладжують добові коливання водоспоживання [2, 3]. У більшості випадків використання РЧВ є економічно доцільним. Інколи системи водопостачання є розімкненими з використанням РЧВ між II та III підйомами. Використання такої схеми водопостачання, на перший погляд, є технологічною необхідністю, але, при більш детальному аналізі, не завжди доцільними з погляду організації роботи насосних агрегатів. Мають місце режими водопостачання, за яких вплив використання РЧВ на технологічний процес водозабезпечення є недоцільним через його низьку енергоефективність. Тому завжди існує необхідність аналізу варіантів водоподачі з використанням існуючих резервуарів питної води та без них.

Наукові дослідження проведені для одного з міст України, з чисельністю населення близько 300 тис. мешканців. Місто розділяється річкою на правобережну і лівобережну частини. Правобережна частина

міста отримує питну воду для населення та підприємств від водоочисної насосної станції (ВОС) II підйому, розташованої у лівобережній частині, через дюкер, що складається з двох водоводів діаметром по 800 мм кожний. Тиску (2.7-2.8) кг/см² в кінці дюкера недостатньо для якісного водозабезпечення споживачів усіх районів правобережжя міста. Тому у технологічному процесі водозабезпечення задіяні насосні агрегати правобережного водозабору (ПВЗ) та підвищувальної насосної станції (ПНС), які є основними і найбільш потужними насосними станціями III підйому правобережної частини міста. Сумарна добова подача води на зазначений район знаходиться у межах 11000 – 15000 м³/добу. Таким обсягам подачі відповідають усереднені погодинні витрати на рівні (460 – 625) м³/год.

У технологічному процесі водозабезпечення задіяний резервуар чистої води об'ємом 5000 м³, розташований на території ПВЗ. Його використання суттєво впливає на організацію подачі питної води споживачам від правобережного водозабору у денний (з 5-ї години ранку до 24⁰⁰) та у нічний (з 24⁰⁰ до 5-ї години ранку) період доби.

Вдень на початок технологічного процесу водопостачання РЧВ заповнений практично на 100%. Загальний об'єм питної води, що подається робочим насосним агрегатом ПВЗ, частково складається з води, яка надходить від дюкера через водовід діаметром 600 мм, і частково підживлюється водою РЧВ. За 19 годин денного режиму водопостачання спрацьовується від 30% до 65% загального об'єму води РЧВ, або від 1500 до 3250 м³ води. Менші об'єми відповідають зимовому режиму водопостачання, а більші – літньому.

Вночі протягом 5 годин технологічного процесу водопостачання, окрім подачі питної води на місто, оперативний персонал ПВЗ організовує заповнення РЧВ до повного об'єму.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптимізувати режими водопостачання міста, узгодивши роботу ВОС II підйому з новою організацією подачі питної води на правобережжя, при якій у технологічному процесі не використовується РЧВ об'ємом 5 000 м³ правобережного водозабору.

РЕЗУЛЬТАТИ НАУКОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз режимів водопостачання міста дає підстави стверджувати, що використання РЧВ правобережного водозабору, задіяного у технологічному процесі забезпечення питною водою споживачів правобережної частини міста, зменшує загальну енергетичну ефективність процесу водопостачання. Вилучення РЧВ ПВЗ з технологічного процесу дозволяє змінити організацію подачі води від ВОС II підйому. При цьому основні показники технологічного процесу (необхідний тиск у конкретних точках та об'єм подачі води) будуть забезпечені при споживанні менших обсягів електричної енергії.

Викладені вище міркування підтверджуються такими розрахунками. Дані для розрахунків отримані з об'єктно-орієнтованої математичної моделі мережі водопостачання міста (рис. 1).

Модель містить насосні агрегати ВОС, узагальнено подану систему основних магістральних водоводів лівобережної частини міста, а правобережна частина задається об'ємами споживання питної води через дюкер.

У моделі на ВОС змодельовані два насосні агрегати: насосний агрегат НА №9 типу Д 3200-75 та насосний агрегат НА №1 типу Д1600-90.

Як і у реальному режимі роботи системи водопостачання, у моделі врахований підпір з боку всмоктування насосного агрегата величиною 3 м.

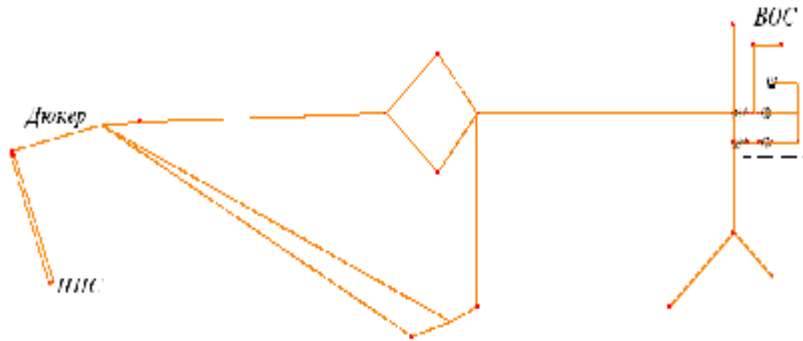


Рисунок 1 - Об'єктно-орієнтована модель мережі водопостачання міста

Модель системи водоводів враховує їх реальну конфігурацію, діаметри окремих ділянок, їх протяжність, геодезичні відмітки, місцеві опори та шорткесті внутрішніх поверхонь водоводів.

Модель приводних електродвигунів дозволяє визначити їх робочу потужність та питомі витрати електроенергії на перекачування 1 м³ питної води з урахуванням об'єму води, яка подається насосним агрегатом та паспортних значень коефіцієнтів корисної дії електричного двигуна та насоса.

Розрахунки виконані на основі даних 4 режимів роботи:

1. Літній режим максимальної денної подачі з використанням РЧВ ПВЗ.

Таблиця 1 – Основні технічні показники режиму

Насосний агрегат	Витрата, м ³ /год	Напір перед засувкою, м	Напір за засувкою, м	Робоча потужність ел. двигуна, кВт	Енергетична ефективність, кВт·год/м ³
НА №9	3433,1	60,3	46	714,665	0,2082
НА №1	1559,9	80,9	46	441,68	0,2831
Всього по ВОС	4993			1156,345	0,2316

2. Літній режим максимальної денної подачі без використання РЧВ ПВЗ.

Таблиця 2 – Основні технічні показники режиму

Насосний агрегат	Витрата м ³ /год	Напір перед засувкою, м	Напір за засувкою, м	Робоча потужність ел. двигуна, кВт	Енергетична ефективність, кВт·год/м ³
НА №9	4046,7	50,3	46,3	696,752	0,1722
НА №1	1147,3	64,3	46,3	255,728	0,2229
Всього по ВОС	5194,0			952,480	0,1834

3. Нічний режим водозабезпечення міста з використанням РЧВ ПВЗ.

Таблиця 3 – Основні технічні показники режиму

Насосний агрегат	Витрата, м ³ /год	Напір перед засувкою, м	Напір за засувкою, м	Робоча потужність ел. двигуна, кВт	Енергетична ефективність, кВт·год/м ³
НА №9	3363,7	61,0	32,2	710,426	0,2112
НА №1					
Всього по ВОС	3363,7			710,426	0,2112

4. Нічний режим водозабезпечення міста без використання РЧВ ПВЗ.

Таблиця 4 – Основні технічні показники режиму

Насосний агрегат	Витрата, м ³ /год	Напір перед засувкою, м	Напір за засувкою, м	Робоча потужність ел. двигуна, кВт	Енергетична ефективність, кВт·год/м ³
НА №9	2864,3	65,7	37,0	653,388	0,2281
НА №1					
Всього по ВОС	2864,3			653,388	0,2281

У розрахунках денного режиму водопостачання прийнято:

- подача води від ВОС при використанні РЧВ – 4993 м³/год;
- подача води від ВОС без використання РЧВ – 5194 м³/год;
- за 19 годин денного режиму спрацьовується 50 % об'єму РЧВ, або 2 500 м³ питної води;

– зміна організації подачі води на правобережну частину міста здійснюється разом з модернізацією насосних агрегатів НА №1 ВОС і НА №1 ПВЗ.

З даних таблиць 1 та 2 випливає:

1. Існуючий на сьогодні режим літнього денного водозабезпечення міста питною водою в об'ємах $Q_{\Sigma} = 4993 \text{ м}^3/\text{год}$ здійснюється двома насосними агрегатами ВОС (НА №9 та НА №1), загальна робоча потужність електричних двигунів яких $P_{\Sigma} = 1156,345 \text{ кВт}$. У забезпеченні питною водою правобережної частини міста задіяний насосний агрегат НА №1 ПВЗ, який подає $Q = 540 \text{ м}^3/\text{год}$ при робочій потужності приводного електричного двигуна $P = 101,427 \text{ кВт}$.

2. Запропонований режим літнього денного водозабезпечення (без використання РЧВ ПВЗ) міста питною водою в об'ємах $Q_{\Sigma} = 5194 \text{ м}^3/\text{год}$ також здійснюється двома насосними агрегатами ВОС (НА №9 та НА №1) із загальною робочою потужністю електричних двигунів $P_{\Sigma} = 952,48 \text{ кВт}$. Насосний агрегат НА №1 ПВЗ, який подає питну воду на правобережну частину міста в об'ємах $Q = 540 \text{ м}^3/\text{год}$, матиме робочу потужність електричного двигуна $P = 43,592 \text{ кВт}$.

Більш економічний режим роботи насосного агрегата НА №9 ВОС пояснюється більшими об'ємами подачі питної води та зменшенням перепаду тиску на напірній засувці. Це можливо лише за умови, що подача води споживачам ВОС, які потребують підвищеного тиску, буде здійснюватись від напірної лінії насосного агрегату НА №1 ВОС, який модернізується під параметри $Q = 1400 \text{ м}^3/\text{год}$, $H = 65 \text{ м}$.

Те саме стосується і насосного агрегата НА №1 ПВЗ. Узгодження режиму його роботи з режимом водопостачання правобережної частини міста зменшує споживання електричної енергії при забезпеченні вимог технологічного процесу.

3. За рахунок комплексу наукових, технічних та організаційних заходів денний режим максимальних обсягів водоспоживання міста може бути забезпечено за всіма показниками при меншому споживанні електричної енергії, яке кількісно можна оцінити зменшенням сумарного середнього навантаження електродвигунів $\Delta P = 261,7 \text{ кВт}$.

У розрахунку нічного режиму водопостачання прийнято:

- подача води від ВОС при використанні РЧВ – 3363,7 м³/год;
- подача води від ВОС без використання РЧВ – 2864,3 м³/год;
- за 5 годин нічного режиму РЧВ має бути заповненим на 100%, що відповідає подачі в РЧВ 500 м³/год.

З даних таблиць 3 та 4 випливає:

1. Існуючий на сьогодні режим нічного забезпечення міста питною водою в об'ємах $Q = 3369,7 \text{ м}^3/\text{год}$ здійснюється насосним агрегатом

НА №9 ВОС, який має робочу потужність електричного двигуна $P = 710,426 \text{ кВт}$. Насосний агрегат НА №1 ПВЗ, який подає питну воду об'ємом $Q = 221,6 \text{ м}^3/\text{год}$ на правобережну частину міста, має робочу потужність електричного двигуна $P = 45,061 \text{ кВт}$.

2. Запропоновані режими нічного водозабезпечення (без використання РЧВ ДВЗ) міста питною водою в об'ємах $Q = 2864,3 \text{ м}^3/\text{год}$ будуть також здійснюватися насосним агрегатом НА №9 ВОС з робочою потужністю електричного двигуна $P = 653,338 \text{ кВт}$. Насосний агрегат НА №1 ПВЗ, який подає питну воду на правобережну частину міста в об'ємах $Q = 221,6 \text{ м}^3/\text{год}$, матиме робочу потужність електричного двигуна $P = 21,37 \text{ кВт}$.

3. Таким чином, реалізація комплексу наукових, технічних і організаційних заходів дозволяє у нічний період зменшити сумарне середнє навантаження електродвигунів на $\Delta P = 80,779 \text{ кВт}$ при забезпеченні основних показників водопостачання споживачам.

ВИСНОВКИ

1. Проведені наукові дослідження підтверджують необхідність додаткового розрахунку доцільності використання РЧВ між II та III підйомами водопостачання населених пунктів з погляду на його енергоефективність.

2. Такі дослідження можна проводити не тільки з використанням традиційних методів розрахунків гідравлічних мереж, а й зі застосуванням сучасних методів математичного моделювання.

3. Якщо у технологічному процесі водопостачання питної води місту використовується в середньому близько 50 % обсягу РЧВ, що становить 2500 м^3 , то для денного періоду водопостачання протяжністю 19 годин це відповідає підживленню мережі водопостачання у середньому в об'ємах близько $130 \text{ м}^3/\text{год}$. Цей об'єм відносно середньогодинної подачі насосної станції ВОС вдень становить 2,6 % і не чинить помітного впливу на режим її роботи.

Заповнення РЧВ уночі (2500 м^3 за 5 годин) збільшує середньогодинну подачу насосної станції ВОС на $500 \text{ м}^3/\text{год}$ або майже на 18 % водоспоживання міста у нічний період.

4. Дослідженнями доведено, що за рахунок зміни організації подачі питної води на правобережну частину міста і здійснення модернізації насосних агрегатів НА №1, ВОС і НА №1 ПВЗ та здійснення інших організаційно-технічних заходів, добова економія електроенергії становитиме

$$W = 261,7 \cdot 19 + 80,779 \cdot 5 = 5376,195 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Річна економія електричної енергії від запропонованих заходів становить $1\,935\,430 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, при вартості електричної енергії $0,73 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}$ річна економія у грошовому еквіваленті – $1\,412\,842 \text{ грн}$. З урахуванням витрат на впровадження термін окупності становить 1 рік.

SUMMARY

THE INFLUENCE OF USING OF THE CLEAN WATER RESERVOIR ON POWER EFFICIENCY OF CITY WATER SUPPLY

V.S. Boiko, M.I. Sotnik *, S.O. Hovanskij*,
National Technical University of Ukraine "KPI",
*Sumy State University

The article deals with the features of the city water supply in the technological process of which a reservoir of clean water between the stations of II and III recovery is usual. Scientific researches are carried out with using of modern methods of mathematical modeling. Object-

oriented model of the system includes the characteristics of pump units and the hydraulic network parameters. The modeling data are used for estimation of the efficiency of water supply process in the day and night-time by using of the clean water reservoir and without it.

Key words: *city water supply, mathematical modeling, energy efficiency.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація. підручник / В.С. Кравченко. - К.: Кондор, 2007. – 288 с.
2. Белан А.Е.Технологія водоснабження / А.Е. Белан. - К.: Наук. думка, 1985. - 264 с.
3. Бойко В.С. Підвищення енергетичної ефективності водопостачання локального об'єкту / В.С. Бойко, М.І. Сотник, С.О. Хованський // Промислова гідравліка і пневматика. – Вип. 1(19). - 2008. - С. 100-103.
4. Лободовский К.К. Управление эффективностью работы двигателя / К.К. Лободовский. – MotorManager, 1996. – 66 с.

Надійшла до редакції 10 травня 2010р.