

DOI: <https://doi.org/10.31073/mivg201902-190>

Available at (PDF): <http://mivg.iwpim.com.ua/index.php/mivg/article/view/190>

УДК 628.1: 631.6

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ТА НАДІЙНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ (НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ СЕЛА ТАРАСІВКА КИЇВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

В.В. Нор¹, Т.П. Хомуцька², канд. техн. наук

¹ Інститут водних проблем і меліорації НААН, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0001-7577-8800>; e-mail: rostem29@gmail.com

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна;
<https://orcid.org/0000-0003-0153-4920>; e-mail: itsk@bigmir.net

Анотація. Проаналізовано сучасний стан водозабезпечення в Україні та розкрито основні проблеми, які виникають на діючих системах водопостачання, пов'язані з недостатньою ефективністю як технологій водопідготовки, так і режимів експлуатації споруд водопровідної системи, що характеризується високим енергоспоживанням, створенням надлишкових тисків і зростанням аварійності мереж водопостачання. Встановлено, що в системах сільськогосподарського водопостачання додаткові складнощі можуть виникнути через значні коливання показників водоспоживання протягом доби, тому необхідні дослідження сумісної роботи взаємодіючих споруд, особливо в безбаитових схемах. Показано, що вирішити задачі надійного забезпечення споживачів потрібними витратами, напорами і якістю води можна, враховуючи вимоги економічності, надійності та екологічної безпеки, а виявити слабкі ланки та розробити рекомендації щодо забезпечення ефективної експлуатації споруд можна за допомогою математичного моделювання та аналізу різних можливих варіантів роботи системи. Питання підвищення економічності та надійності систем сільськогосподарського водопостачання розглянуто на прикладі водозабезпечення села Тарасівка Київської області. Наведено результати дослідження роботи водопровідних споруд системи водопостачання, що базується на використанні підземних вод, і показано, що при подачі води із свердловини безпосередньо у водопровідну мережу відбуваються великі перевитрати електроенергії на водопідйом. Виконано аналіз надійності системи водопостачання при подачі води із свердловини та запропоновано заходи для забезпечення економічної та надійної роботи водопровідних споруд при зменшенні питомих витрат електроенергії на подачу води споживачам і покращенні її якості.

Ключові слова: сільськогосподарське водопостачання, водозабірні свердловини, водопровідна мережа, питоми витрати електроенергії, надійність водопровідних споруд, знезалізнення води.

Актуальність. Для забезпечення водою сільських населених пунктів і підприємств агропромислового комплексу (АПК) необхідно мати низку споруд для забору води з природних джерел, її очищення, підняття, накопичування, транспортування, розподілення і подачі споживачам. Набір цих споруд залежить від наявності, потужності та якісних показників водних джерел, вимог споживачів до кількості та якості води, їхнього розміщення на місцевості, наявності матеріалів та інших факторів.

При вирішенні цих питань з усіх можливих варіантів необхідно вибирати найвигідніший, за якого усі споживачі будуть забезпечені водою в потрібній

кількості, належної якості і під необхідним розрахунковим вільним напором при найменших витратах на будівництво і експлу-

атацію водопровідних споруд та забезпеченні достатньої надійності їхньої роботи.

Оскільки природні запаси прісної води обмежені і відбувається їх прогресуюче забруднення стічними водами, то проблема надійного водозабезпечення населення і галузей економіки є нині актуальною і постає як одна з найважливіших сучасних проблем.

Аналіз останніх досліджень. У роботах зарубіжних авторів [1-5] велику увагу приділено питанням оптимізації систем водопостачання для поліпшення економічних показників і зменшення витрат електроенергії на подачу води. На конкретних прикладах оцінено ризики у водозабезпеченні споживачів та розкрито шляхи задоволення вимог надійності при плануванні системи водопостачання населених пунктів [6-10]. Однак забезпечити економічну та надійну роботу водопровідних

споруд можна лише зважаючи на усі фактори, що впливають на ефективність, з урахуванням різних умов будівництва та експлуатації системи в кожному окремому випадку.

Аналіз сучасного стану систем водопостачання в Україні показав що:

- в умовах дії посиленних вимог до якості водопровідної води діючі технології водопідготовки не завжди здатні забезпечити потрібну якість водоочищення;

- на комунальних підприємствах спостерігається велика зношеність основних фондів, насамперед водопровідних мереж, що призводить до значних втрат і вторинного забруднення води;

- зміна норм і режимів водоспоживання в населених пунктах, а також характеристик водопровідних споруд гідравлічної взаємодії при експлуатації призводять до створення надлишкових тисків в системі водопостачання та зростання її аварійності, незабезпечення споживачів потрібними витратами і напорами води та збільшення матеріальних і моральних збитків;

- значна частина діючого насосного обладнання в Україні потребує заміни чи реконструкції, оскільки робота насосів перебуває поза межами їх рекомендованого застосування, тобто з низькими ККД і високим енергоспоживанням, а тому питомі витрати електроенергії на подачу води в Україні мають набагато вищі показники ніж в інших європейських державах.

Сільським населеним пунктам притаманні значні коливання показників водоспоживання протягом доби, що може додатково ускладнити роботу систем сільськогосподарського водопостачання, особливо в безбаштових схемах.

Поліпшити ситуацію можна за допомогою використання раціональних схем, енергозберігаючих технологій і сучасного ефективного обладнання, матеріалів і засобів на всьому шляху транспортування води від водного джерела до споживача, а також шляхом оптимізації системи водопостачання на основі математичного моделювання роботи гідравлічно взаємодіючих споруд, аналізу різних можливих варіантів їх експлуатації та вибору оптимальних режимів при зміні водоспоживання.

Мета та методика досліджень. Метою досліджень є вирішення питань ресурсозбереження в системах сільськогосподарського водопостачання (раціонального і економного витрачання води, капітальних та енергетичних ресурсів) при інтенсифікації роботи водопровідних споруд для забезпечення як економіч-

ності, так і технічної надійності функціонування системи без нанесення шкоди довкіллю. Тобто оптимальне рішення визначається при одночасному розгляді трьох складових даної проблеми: економічність, надійність та захист довкілля.

Дослідження проводили на системі водопостачання в селі Тарасівка Києво-Святошинського району Київської області, що розташована на відстані 11 км від м. Києва та 4 км від м. Боярки. У селі площею 4,8 км² мешкає 5,8 тис. осіб. При дослідженнях було встановлено показники економічності та надійності всіх діючих споруд системи водопостачання цього села, виконано порівняння з нормативними показниками та запропоновано рекомендації з покращення роботи водопровідних споруд.

У питаннях ресурсозбереження використовували напрацювання, що викладені в роботах [11; 12]. Собівартість води залежить від витрат на її добування, підготовку і транспортування. Основними шляхами ресурсозбереження в системах сільгосподарського водопостачання є:

- скорочення обсягів водоспоживання і водовідведення із впровадженням інтенсифікації роботи водопровідних споруд;

- зменшення втрат води в системах водопостачання;

- застосування замкнених систем водокористування на підприємствах АПК;

- використання нових ефективних і економічних технологічних схем водопідготовки;

- оптимізація сумісної роботи водопровідних споруд для мінімізації питомих витрат електроенергії;

- забезпечення надійної і довготривалої роботи системи без недопустимих перерв в постачанні води, зниження напорів чи погіршенні її якості.

Надійність роботи системи водопостачання як комплексу взаємодіючих споруд можна оцінити лише після розрахунку надійності її окремих елементів, що знаходяться на шляху подачі води від водозабору до споживачів [13–16].

З точки зору економіки найвигіднішим варіантом системи водопостачання (при проектуванні нової чи реконструкції діючої) вважається такий, при якому будуть мінімальними приведені витрати по всьому комплексу взаємодіючих водопровідних споруд: водозабори – насосні станції – очисні споруди – водоводи – напірно-регулюючі споруди – водопровідна мережа [1; 12; 17], тобто оптимальне рішення зводиться до визначення мінімуму функції цілі при накладенні низки обмежень:

$$P = E \cdot K + C, \text{ грн./рік}, \quad (1)$$

де P – приведені витрати по системі водопостачання, грн./рік; K – капіталовкладення, тобто вартість усіх водопровідних споруд, грн.; C – річні експлуатаційні витрати на амортизацію, ремонт та обслуговування споруд, а також вартість електроенергії на подачу води, грн./рік; E – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, що дорівнює

$$E = 1/T_{\text{ок}}, \text{ 1/рік}, \quad (2)$$

$T_{\text{ок}}$ – строк окупності капіталовкладень, роки.

При мінімізації величини P накладаються такі обмеження:

– забезпечення подачі всім споживачам розрахункових витрат води

$$Q_i \geq Q_{\text{розр.і}}, \text{ л/с}; \quad (3)$$

– вільний напір у мережі біля кожного споживача не повинен бути меншим розрахункового

$$H_i \geq H_{\text{розр.і}}, \text{ м}; \quad (4)$$

– якість питної води, що подається для кожного споживача, не повинна бути нижчою нормативних показників [18]

$$W_{i,j} \leq W_{i,j,\text{норм}}; \quad (5)$$

– найменша тривалість безвідмовної роботи системи повинна бути меншою нормативних значень

$$T_{\text{мін}} \geq T_{\text{норм}}, \text{ год}; \quad (6)$$

– найбільший час відновлення працездатності не повинен перевищувати нормативні показники

$$t_{\text{в.мах}} \leq t_{\text{в.норм}}, \text{ год}; \quad (7)$$

Результати дослідження та їх обговорення. Аналіз сучасного стану системи водопостачання села Тарасівка. Централізована система водопостачання с. Тарасівка (рис. 1) базується на використанні підземних вод, які забираються із сеноманського горизонту за допомогою трьох робочих свердловин, розташованих у різних частинах населеного пункту, з роздачею води навколишнім споживачам. Свердловини характеризуються такими дебітами, м³/год: Св. № 1–7,8; Св. № 2–6,6; Св. № 3–1,1. Свердловина № 4 нині відключена і перебуває в розряді резервних.

Забезпечення споживачів водою здійснюється по розгалуженій

тупиковій водопровідній мережі (рис. 1) із загальною протяжністю ліній 2,7 км та діаметрами труб від 100 до 225 мм. На мережі встановлено водонапірну башту для накопичення регулюючих об'ємів води та пожежний резервуар, у якому зберігаються запаси води на випадок пожежогасіння. Свердловина № 1 подає воду у водонапірну башту, розташовану неподалік, а свердловини № 2 і № 3 – безпосередньо у водопровідну мережу.

У системах водопостачання подача води в мережу через водонапірну башту дозволяє насосам працювати в рівномірному режимі у зоні найвищого коефіцієнта корисної дії (ккд), що забезпечує мінімальні питомі витрати електроенергії. При подачі води насосами безпосередньо у водопровідну мережу з великим коливанням водоспоживання протягом доби відбуваються значні перевитрати електроенергії [11; 19; 20]. Найскладніша ситуація

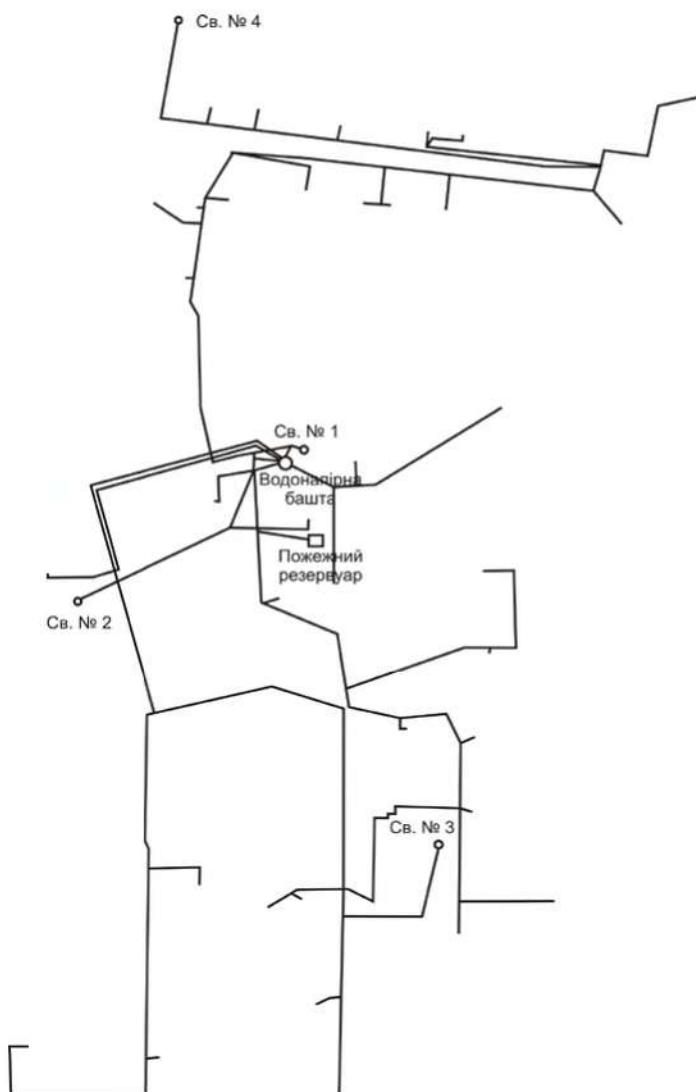


Рис. 1. Схема системи водопостачання села Тарасівка Київської області

виникає у разі подачі води у водопровідну мережу із свердловини (рис. 2), оскільки на подачу насоса впливає як величина водоспоживання з мережі, що змінюється протягом доби від Q_{\min} до Q_{\max} , так і зниження статичного рівня води в свердловині, що змінюється від ΔS_{\min} до ΔS_{\max} .

Заглибний насос 3 (рис. 2) підбирають по витраті води

$$Q_n = Q_{\max}, \quad (8)$$

і напорю

$$H_n = H_r + \Delta S_{\max} + \Sigma h_{\max}, \quad (9)$$

де H_r – геометрична висота водопідйому від статичного рівня води у свердловині $Z_{ст}$ до потрібної п'єзометричної відмітки у диктуючій точці $Z_{п.д}$ для забезпечення у ній необхідної величини вільного напору H_B :

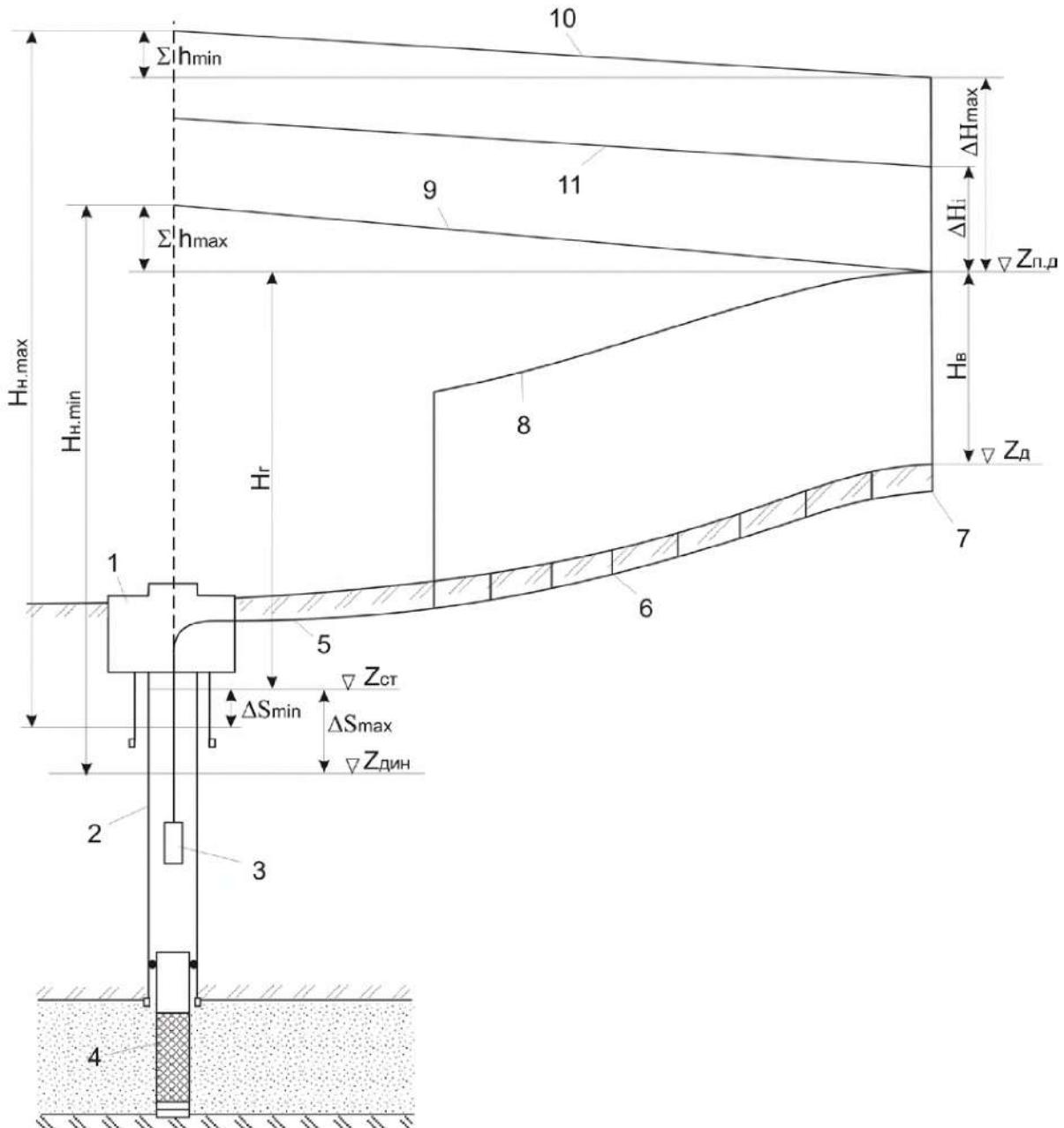


Рис. 2. Схема подачі води із свердловини заглибним насосом безпосередньо у водопровідну мережу:

- 1 – оголовок; 2 – експлуатаційна обсадна колона; 3 – насосний агрегат; 4 – фільтр; 5 – напірний водовід; 6 – водопровідна мережа; 7 – диктуюча точка на мережі; 8 – лінія потрібних вільних напорів на мережі; 9 – п'єзометрична лінія в системі при максимальному водоспоживанні витратою Q_{\max} ; 10 – те саме, при мінімальному водоспоживанні витратою Q_{\min} ; 11 – те саме, при водоспоживанні витратою Q_i у межах між Q_{\min} та Q_{\max} .

$$H_r = Z_{пд} - Z_{ст} = Z_{з.д} + H_B - Z_{ст} \quad (10)$$

$Z_{з.д}$ – відмітка поверхні землі у диктуючій точці; ΔS_{max} – величина зниження статичного рівня води у свердловині при відкачуванні з неї води витратою Q_{max} :

$$\Delta S_{max} = Q_{max} / q, \quad (11)$$

q – питомий дебіт даної свердловини, що визначається на основі експериментальних досліджень; Σh_{max} – сума втрат напору на шляху руху води від заглибного насоса 3 до диктуючої точки 7 (рис. 2).

При зменшенні водоспоживання з мережі Q_i у межах від Q_{max} до Q_{min} відцентровий насос згідно з його характеристикою Q-H (рис. 3) буде збільшувати свій напір. У такому випадку в диктуючій точці мережі надлишковий напір ΔH_i буде зростати в межах від 0 до ΔH_{max} (рис. 2), величину якого можна визначити за формулою

$$\Delta H_i = S_\phi (Q_{max}^2 - Q_i^2) + \frac{Q_{max} - Q_i}{q} + \Sigma h_{max} - \Sigma h_i, \quad (12)$$

де S_ϕ – параметр аналітичної характеристики Q-H насоса:

$$H_{н.і} = H_\phi - S_\phi Q_{н.і}^2. \quad (13)$$

Отже, зменшення водоспоживання з мережі призводить до збільшення напорів

в системі на величину ΔH_i , а отже і до пере витрат електроенергії заглибним насосом, величина яких протягом доби дорівнює

$$\Delta N_{доб} = \sum_1^{24} \frac{\gamma Q_i \Delta H_i t_i}{102 \eta_i}, \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}, \quad (14)$$

де t_i – тривалість водоспоживання витратою Q_i , год; η_i – ккд насоса в i -тий період роботи водопровідної системи, частка одиниці.

Аналіз показників надійності системи водопостачання. Математичною моделлю для розрахунків надійності системи водопостачання приймається ланцюг послідовно поєднаних елементів від водоносного пласта до найвіддаленішого водоспоживача, вихід з ладу кожного з яких призводить до зупинки подачі води: фільтр свердловини – обсадна труба – насосний агрегат – водопідйомна труба – блок управління – зворотній клапан – засувка – водовід – водопровідна мережа.

Параметр потоку відмов системи водопостачання для послідовно поєднаних відновлюваних елементів обчислюється за формулою [13]:

$$\omega = \omega_\phi + \omega_{о.т} + \omega_{н.а} + \omega_{в.т} + \omega_{б.у} + \omega_к + \omega_з + \omega_{вод} + \omega_M \quad (15)$$

де ω_ϕ , $\omega_{о.т}$, $\omega_{н.а}$, $\omega_{в.т}$, $\omega_{б.у}$, $\omega_к$, $\omega_з$, $\omega_{вод}$, ω_M – параметри потоку відмов відповідно фільтра, обсадної труби, насосного агрегату, водопідйомної труби, блоку управління, зворотного

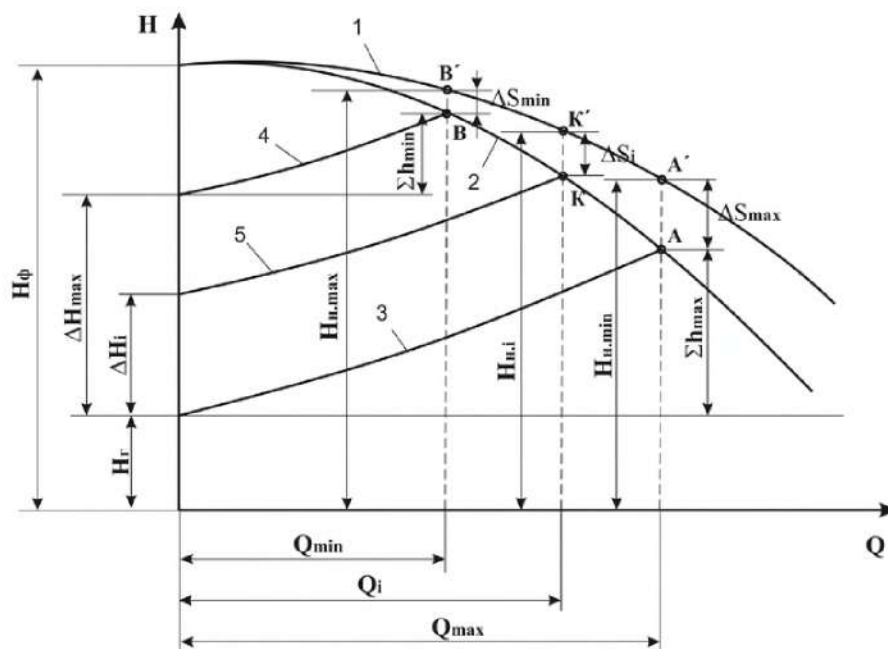


Рис. 3. Графіки роботи водопровідної системи при подачі води із свердловини насосом безпосередньо у водопровідну мережу: 1 – характеристика Q-H заглибного насоса; 2 – те саме, з урахуванням зниження статичного рівня води у свердловині; 3 – гідравлічна характеристика водопровідної системи при максимальному водоспоживанні з водопровідної мережі Q_{max} ; 4 – те саме, при Q_{min} ; 5 – те саме, при водоспоживанні в межах між Q_{min} та Q_{max} .

клапана, засувки, водоводу і водопровідної мережі, 1/год.

Водозабірня свердловина має обсадну трубу діаметром $d_{o,t} = 140$ мм і довжиною $l_{o,t} = 105$ м, обладнана сітчастим фільтром діаметром $d_{\phi} = 125$ мм і довжиною $l_{\phi} = 13$ м та має водопідйомну трубу діаметром $d_{b,t} = 70$ мм і довжиною $l_{b,t} = 85$ м.

Скориставшись рекомендаціями [15], викладеними з питань надійності окремих елементів водозабірної свердловини, обчислили параметр потоку відмов водозабірної свердловини:

$$\omega_{b,c} = (1,25 + 0,12 \cdot 105/1000 + 1,5 + 1,02 \cdot 85/1000 + 0,95 + 0,08 + 0,6) \cdot 10^{-4} = 4,4793 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Середнє напрацювання на відмову свердловини визначається за формулою [13; 15]:

$$T_{cb} = 1/\omega_{b,c} = 1/4,4793 \cdot 10^{-4} = 2233 \text{ год} \approx 3 \text{ міс.} \quad (16)$$

Від свердловини у мережу вода подається по водоводу діаметром $d_b = 110$ мм і довжиною $l_b = 110$ м. Параметр потоку відмов водоводу обчислюємо за формулою [13, 15]:

$$\omega_{вод} = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot l_b / 1000 = 0,055 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (17)$$

Параметр потоку відмов мережі за напрямком подавання води від свердловини до найвіддаленішого споживача:

$$\omega_m = \omega_{п.м} \cdot L = 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,5 = 0,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (18)$$

де $\omega_{п.м} = 0,5 \cdot 10^{-4}$, 1/год·км – питомий параметр потоку відмов для поліетиленових труб; $L = 1,5$ км – довжина труб розгалуженої водопровідної мережі.

Отже, загальний параметр потоку відмов системи водопостачання від свердловини до споживачів становить

$$\omega = 4,48 \cdot 10^{-4} + 0,055 \cdot 10^{-4} + 0,75 \cdot 10^{-4} = 5,29 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.,}$$

а середнє напрацювання на відмову системи дорівнює

$$T = 1/\omega = 1/5,29 \cdot 10^{-4} = 1890 \text{ год.} \quad (19)$$

Середній час відновлення працездатності елементів системи водопостачання приймається [13; 15]: для свердловини $T_{cb} = 12$ год, а для водопровідних труб водоводу і мережі $T_{tr} = 8$ год.

Підвищення економічності і надійності роботи системи водопостачання. Для зменшення питомих витрат електроенергії на подачу води споживачам потрібно регулювати роботу відцентрових насосів протягом доби, оскільки водоспоживання в сільських населених пунктах змінюється в значних інтервалах. Це можна здійснювати двома способами:

- зміною частоти обертання робочого колеса насоса за допомогою перетворювача частоти (ПЧ);
- забезпечення роботи насоса в зоні найбільшого ккд шляхом автоматизації його включення і виключення залежно від рівня води у водонапірній башті.

При першому способі регулювання відцентрового насоса (рис. 4), який доцільно

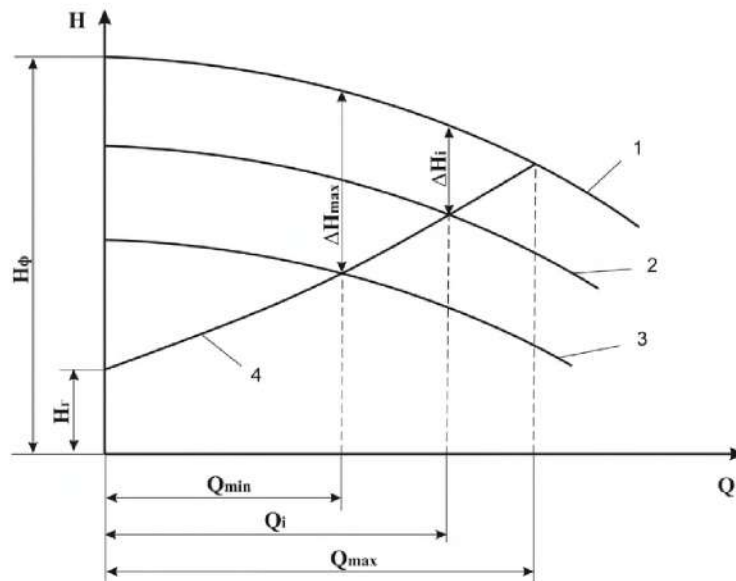


Рис. 4. Графіки сумісної роботи відцентрового насоса і безбаштової водопровідної мережі:

- 1 – характеристика Q-H відцентрового насоса при Q_{max} та $n_{норм}$; 2 – те саме, при Q_i та $n_{per.i}$;
- 3 – те саме, при Q_{min} та $n_{per.min}$; 4 – гідравлічна характеристика водопровідної системи при Q_{max}

пінополістирольним завантаженням 5 при висхідному русі води. Очищена вода забирається ковпачковим дренажем 6, знезаражується бактерицидною установкою 10 і відводиться споживачам по трубопроводу 8. Контроль за втратами напору здійснюють дифманометром 11 для прийняття рішень про необхідність промивки фільтра, під час якої промивна вода скидається по трубопроводу 9. Заглибний насос автоматично вмикається в роботу при рівні води в башті Z_{\min} і вимикається при досягненні рівня Z_{\max} завдяки системі автоматики з реле рівнів 12, електричного провада 13 та шафи управління відцентровим насосом 14.

Регулюючий об'єм бака водонапірної башти визначається [12] за формулою

$$W_{\text{рег}} = \frac{Q_{\text{н.ср}}}{4 \cdot n_{\text{max}}}, \text{ м}^3, \quad (21)$$

де $Q_{\text{н.ср}}$ – середня продуктивність насоса між включенням і виключенням, $\text{м}^3/\text{год}$; n_{max} – максимальна кількість включень насоса за годину ($n_{\text{max}} = 6-8$).

Висновки. Системам сільськогосподарського водопостачання притаманні великі коливання показників водоспоживання протягом доби. У разі подачі води насосами безпосередньо у водопровідну мережу при невеликому водорозборі в системі можуть

виникати надлишкові тиски, які збільшують її аварійність, спричиняють витoki і втрати води, призводять до перевитрат електроенергії та значних матеріальних збитків. Дослідження і розрахунок таких систем з урахуванням вимог економічності, надійності та екологічної безпеки дозволяють поліпшити ситуацію.

На прикладі водопостачання села Тарасівка Київської області проведений аналіз роботи системи дозволив виявити слабкі ланки та розробити такі необхідні рекомендації: застосування частотного регулювання насосів на свердловинах № 2 і № 3 для усунення надлишкових тисків і зменшення енергоспоживання; кільцювання водопровідної мережі для підвищення надійності роботи системи водопостачання; використання баштової водознезалізнувальної установки конструкції ІВПіМ НААН для забезпечення споживачів водою нормативної якості; застосування автоматизованої схеми управління роботою заглибного насоса на свердловині № 1 по рівнях води у водонапірній башті для зменшення питомих витрат електроенергії. За допомогою математичного моделювання роботи системи можна визначати економічно доцільні режими експлуатації взаємодіючих водопровідних споруд при різних значеннях водоспоживання.

Бібліографія

1. Daniel F. Moreira and Helena M. Ramos. Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study. *Journal of Energy*, Volume 2013.
2. Yung-Hsin Sun, William W-G. Yeh, Nien-Sheng Hsu, Peter W.F. Louie. Generalized Network Algorithm for Water-Supply-System Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 121, Issue 5 (September 1995).
3. John Friesen; Lea Rausch; Peter F. Pelz Providing water for the poor – towards optimal water supply infrastructures for informal settlements by using remote sensing data. 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE).
4. Vilas Nitivattananon, Elaine C. Sadowski, Rafael G. Quimpo. Optimization of Water Supply System Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 122, Issue 5, 374–384. (September 1996).
5. Marion W. Jenkins; Jay R. Lund; Richard E. Howitt; Andrew J. Draper; Siwa M. Msangi; Stacy K. Tanaka; Randall S. Ritzema; and Guilherme F. Marques. Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, Issue 4 (July 2004).
6. Mukami Kariuki and Jordan Schwartz. Small-scale private service providers of water supply and electricity: A review of incidence, structure, pricing, and operating characteristics, 2005 – elibrary.worldbank.org.
7. George Kuczera and Glen Diment. General Water Supply System Simulation Model: WASP. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 114, Issue 4 (July 1988).
8. G. Chung, K. Lansey, G. Bayraksan. Reliable water supply system design under uncertainty. *Environmental Modelling & Software*, Volume 24, Issue 4, April 2009, P. 449–462.
9. Xu Zongxue, K. Jinno, A. Kawamura, S. Takesaki, K. Ito. Performance Risk Analysis for Fukuoka Water Supply System. *Water Resources Management*, February 1998, Volume 12, Issue 1, pp. 13–30.
10. Roman Słowiński A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning. *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 19, Issue 3, July 1986, P. 217–237.

11. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2008. 534 с.
12. Хомуцька Т.П. Енергоощадне водопостачання. Київ: Аграрна наука, 2016. 304 с.
13. Новохатній В.Г., Костенко С.О., Матяш О.В. Надійність водопостачання малих населених пунктів. Полтава: ПолтНТУ, 2019. 102 с.
14. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. Київ: Держстандарт України, 1994. 32 с.
15. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. Москва: Стройиздат, 1985. 240 с.
16. Новохатній В.Г., Костенко С.О. Комп'ютерний розрахунок надійності насосних станцій // Комунальне господарство міст: Наук.-техн. зб. ХНАМГ. Київ: Техніка, 2011. Вип. 97. С. 126–131.
17. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації / П.Д. Хоружий та ін.; за ред. П.Д.Хоружого. Київ: Урожай, 1992. 296 с.
18. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості: ДСТУ 7525:2014. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 25 с.
19. Ткачук О.А. Основні шляхи скорочення енерговитрат в системах подачі і розподілу води // Вісник НУВГП: Зб. наук. праць, Вип. 3(31). Рівне: НУВГП, 2005. С. 323–328.
20. Ткачук А. Оптимизация сетей водоснабжения города // Motorol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Vol. 16, No. 6, Lublin Rzeszow, 2014. P. 85–92.

References

1. Moreira, D.F., & Ramos, H.M. (2013). Energy Cost Optimization in a Water Supply System Case Study. *Journal of Energy*, Vol. 2013, 9. <https://doi.org/10.1155/2013/620698>.
2. Sun, Y.-H., Yeh, W.W-G., Hsu, N.-S., & Louie, P.W.F. (1995). Generalized Network Algorithm for Water-Supply-System Optimization. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 121, Issue 5, 392–398. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(1995\)121:5\(392\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(1995)121:5(392)).
3. Friesen, J., Rausch, L., & Pelz, P.F. (2017). Providing water for the poor – towards optimal water supply infrastructures for informal settlements by using remote sensing data. 2017 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE), 1-4. <https://doi.org/10.1109/JURSE.2017.7924541>.
4. Nitivattananon, V., Sadowski, E.C., & Quimpo, R.G. (1996). Optimization of Water Supply System Operation. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 122(5), 374–384.
5. Jenkins, M.W., Lund, J.R., Howitt, R.E., Draper A.J., Msangi S.M., Tanaka S.K., Ritzema R.S. & Marques, G.F. (2004). Optimization of California's water supply system: results and insights. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 130, Issue 4, 271–280.
6. Kariuki, M., & Schwartz, J. (2005). Small-scale private service providers of water supply and electricity: A review of incidence, structure, pricing, and operating characteristics. *World Bank Policy Research Working Paper 3727*, 38. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3727>. Retrieved from: <https://elibrary.worldbank.org>.
7. Kuczera, G., & Diment, G. (1988). General Water Supply System Simulation Model: WASP. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 114, Issue 4.
8. Chung, G., Lansey, K., & Bayraksan, G. (2009). Reliable water supply system design under uncertainty. *Environmental Modelling & Software*, Volume 24, Issue 4, 449–462.
9. Zongxue, X., Jinno, K., Kawamura, A., Takesaki, S., & Ito, K. (1998). Performance Risk Analysis for Fukuoka Water Supply System. *Water Resources Management*, Volume 12, Issue 1, 13–30.
10. Słowiński, R. (1986). A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning. *Fuzzy Sets and Systems*, Volume 19, Issue 3, 217–237.
11. Khoruzhyi, P.D., Khomutetska, T.P., & Khoruzhyi V.P. (2008). Resursozberihayuchi tekhnolohiyi vodopostachannya. [Resource-saving water supply technologies]. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].
12. Khomutetska, T.P. (2016). Enerhooshchadne vodopostachannya. [Energy-saving water supply]. Kyiv: Agrarian Science. [in Ukrainian].
13. Novokhatnyi, V.H., Kostenko, S.O., & Matyash, O.V. (2019). Nadiynist vodopostachannya malykh naselenykh punktiv [Reliability of water supply in small settlements]. Poltava: PoltNTU. [in Ukrainian].
14. Nadiynist tekhniky. Terminy ta vyznachennya. [Equipment reliability. Terms and definitions] (1994). DSTU 2860-94. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].

15. Ilyin, Yu.A. (1985). Nadezhnost vodoprovodnykh sooruzheniy i oborudovaniya [Reliability of water supply facilities and equipment]. Moskva: Stroyizdat. [in Russian].
16. Novokhatnyi, V.H., & Kostenko, S.O. (2011). Kompyuterniy rozrakhunok nadiynosti nasosnykh stantsiy [Computer calculation of pumping station reliability]. Komunalne hospodarstvo mist, 97, 126-131. [in Ukrainian].
17. Khorozhyi, P.D., Orlov, V.O., & Tkachuk, O.A. et al. (1992). Dovidnyk po silskohospodarskomu vodopostachannyu i kanalizatsiyi [Handbook on agricultural water supply and sewerage]. Kyiv: Uroghay. [in Ukrainian].
18. Voda pytna. Vymohy ta metody kontrolyuvannya yakosti. [Drinking water. Requirements and quality control methods]. (2014). DSTU 7525:2014. Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine. [in Ukrainian].
19. Tkachuk, O.A. (2005). Osnovni shlyakhy skorochennya enerhovytrat v systemakh podachi i rozpodilu vody [The main ways to reduce energy consumption in water supply and distribution systems]. Visnyk NUVHP, 3(31), 323–328. [in Ukrainian].
20. Tkachuk A. (2014). Optymyzatsyya setey vodosnabzhenyya horoda [Optimization of city water supply networks]. Motorol. Commission of motorization and energetics in agriculture, 16, 6, 85–92. [in Russian].

В.В. Нор, Т.П. Хомуцкая

Обеспечение экономической и надежной работы систем сельскохозяйственного водоснабжения (на примере системы водоснабжения села Тарасовка Киевской области)

Аннотация. Проанализировано современное состояние водоснабжения в Украине и раскрыты основные проблемы, возникающие на действующих системах водоснабжения, связанные с недостаточной эффективностью как технологий водоподготовки, так и режимов эксплуатации сооружений водопроводной системы, что характеризуется высоким энергопотреблением, созданием избыточных напорov и ростом аварийности сетей водоснабжения. Установлено, что в системах сельскохозяйственного водоснабжения дополнительные сложности могут возникнуть из-за значительных колебаний показателей водопотребления в течение суток, поэтому необходимы исследования совместной работы взаимодействующих сооружений, особенно в безбашенных схемах. Показано, что решить задачи надежного обеспечения потребителей необходимыми расходами, напорами и качеством воды можно, учитывая требования экономичности, надежности и экологической безопасности, а выявить слабые звенья и разработать рекомендации по обеспечению эффективной эксплуатации сооружений можно с помощью математического моделирования и анализа различных возможных вариантов работы системы. Вопрос повышения экономичности и надежности систем сельхозводоснабжения рассмотрен на примере водоснабжения села Тарасовка Киевской области. Приведены результаты исследования работы водопроводных сооружений системы водоснабжения, основанной на использовании подземных вод, и показано, что при подаче воды из скважины непосредственно в водопроводную сеть происходят большие перерасходы электроэнергии на водоподъем. Выполнен анализ надежности системы водоснабжения при подаче воды из скважины и предложены меры для обеспечения экономической и надежной работы водопроводных сооружений при уменьшении удельных расходов электроэнергии на подачу воды потребителям и улучшении ее качества.

Ключевые слова: сельскохозяйственное водоснабжение, водозаборная скважина, водопроводная сеть, удельные расходы электроэнергии, надежность водопроводных сооружений, обезжелезание воды.

V.V. Nor, T.P. Khomutetska

Ensuring cost-effective and reliable operation of agricultural water supply systems (as in the case of water supply system of Tarasovka village in Kyiv region)

Abstract. The current state of water supply in Ukraine was analyzed and the main problems that arise on the existing water supply systems, related to the lack of efficiency of both water treatment technologies and operation conditions of the water supply system structures, characterized by high energy consumption, excess pressure formation and accident rate increase were studied. It was specified that in agricultural water supply systems additional difficulties can arise due to significant fluctuations of water consumption during the day, therefore, there is a need for the study of the joint work of interacting structures, especially in the towerless schemes. It is shown that to solve the problems of reliable provision of consumers with the required water amounts, water pressures and water quality, is possible taking into account the requirements of economy, reliability and environmental safety, and to identify weaknesses and develop recommendations for ensuring the efficient operation of structures can be fulfilled by mathematical modeling and analysis of

various possible variants of system operation. The issue of increasing the efficiency and reliability of agricultural supply systems was considered using the example of the water supply system in Tarasivka village of Kyiv region. The article deals with increasing the efficiency and reliability of agricultural water supply systems. The results of the study of water supply systems operation, based on the utilization of ground water in the village of Tarasivka, Kyiv region are given, which demonstrate that when pumping water from the well directly into the water supply network, excess damage energy for water lift occurs. The reliability of the water supply system, when pumping water from the well, was analyzed and the measures to ensure cost-effective and reliable operation of water supply structures while reducing the specific costs of electricity for supplying water to consumers and improving its quality were proposed.

Key words: *agricultural water supply, catch well, water supply network, specific electricity costs, reliability of water supply facilities, water deironing.*