

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ПРИ РІЗНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН

Наведено результати досліджень вартості спожитої електроенергії в системах водопостачання при застосуванні багатозонних тарифів і різних режимах подачі води водозабірними свердловинами в регулюючу ємність.

Ключові слова: система водопостачання, підземні води, вартість електроенергії, багатозонні тарифи

Приведены результаты исследований стоимости потребленной электроэнергии в системах водоснабжения при применении многозонных тарифов и различных режимах подачи воды водозаборными скважинами в регулируемую емкость.

Ключевые слова: система водоснабжения, подземные воды, стоимость электроэнергии, многозонные тарифы

The article contains results of researching cost of consumed electric energy in water supply systems by using multi-zone tariffs and different modes supply water by water intake wells to the regulating volume.

Keywords: water supply system, groundwater, electricity cost, multi-zone tariffs

При експлуатації насосів в системах водопостачання споживається величезна кількість електроенергії, вартість якої зазвичай становить одну із основних статей експлуатаційних витрат комунальних підприємств та значною мірою впливає на собівартість води. Суттєве подорожчання вартості енергетичних ресурсів для промисловості протягом останніх років (рис. 1) є головною причиною зростання тарифів на воду для різних категорій споживачів. Така ситуація змушує здійснювати пошук шляхів енергозбереження та зменшення витрат за споживану електроенергію при заборі води з джерел водопостачання та подачі її споживачам. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми може бути застосування багатозонних тарифів на насосних станціях при заборі підземних вод [1-6].

Оскільки в Україні є суттєвий надлишок електроенергії в нічний час через велику різницю між денним і нічним енергоспоживанням, то для підвищення економічності та надійності роботи енергосистеми, раціонального

її використання, організації більш рівномірного завантаження електромереж протягом доби, держава низькими тарифами стимулює більше споживання електроенергії вночі шляхом впровадження дво- й тризонної тарифікації з відповідними тарифними коефіцієнтами, диференційованими за періодами часу (табл. 1 і 2), що передбачає використання багатотарифних лічильників на електроенергію [5, 6].

T₁, грн./кВт.год

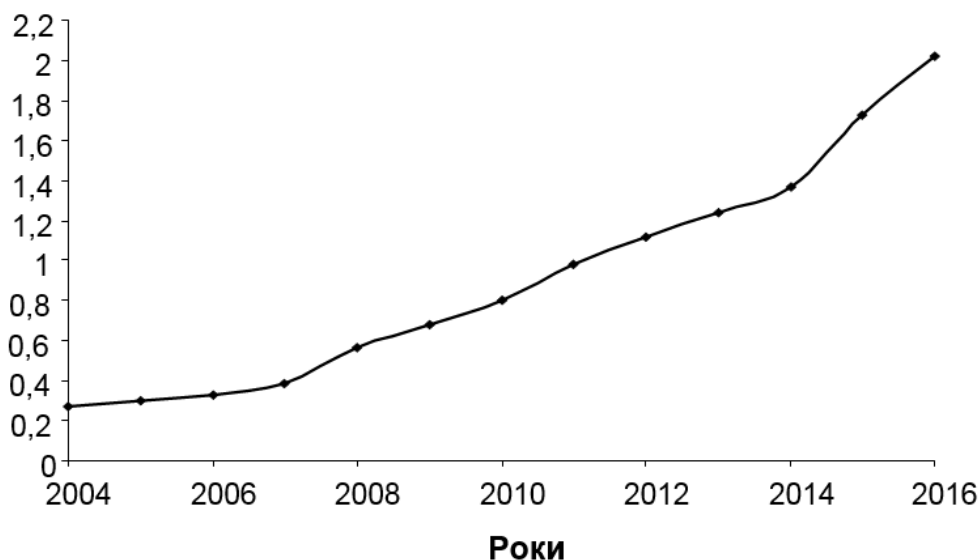


Рис. 1. Зростання вартості 1 кВт·год електроенергії для промисловості за одноставковим тарифом

Таблиця 1

Тарифні коефіцієнти для двозонних тарифів диференційованих за періодами часу

Період часу	Тарифний коефіцієнт	Межі тарифних зон	Тривалість періоду, год.
нічний	0,35	з 23 год. до 7 год.	8
денний	1,35	з 7 год. до 23 год.	16

Таблиця 2

Тарифні коефіцієнти для тризонних тарифів диференційованих за періодами часу

Період часу	Тарифний коефіцієнт	Межі тарифних зон	Тривалість періоду, год.
нічний	0,25	з 23 год. до 6 год.	7
напівпіковий	1,02	з 6 год. до 8 год. з 10 год. до 17 год. з 21 год. до 23 год.	11
піковий	1,8	з 8 год. до 10 год. з 17 год. до 21 год.	6

Для обґрунтування доцільності застосування багатозонних тарифів на електроенергію в системах водопостачання необхідно провести відповідні дослідження.

При заборі підземних вод свердловинами, як правило, протягом доби застосовують режим рівномірної подачі води насосами в регулюючу ємність. У цьому випадку при використанні одноставкового тарифу добова вартість за спожиту електроенергію складе, грн.:

$$E_1 = N_1 n T_1, \quad (1)$$

де N_1 – споживана на валу насосів потужність за одну годину їхньої роботи, кВт; $n = 24$ год. – тривалість рівномірної роботи насосів протягом доби; T_1 – тариф за спожиту електроенергію, грн./кВт·год.

Прийнявши $E_1 = 100\%$, можна визначити, якою буде вартість спожитої електроенергії при застосуванні багатозонних тарифів у порівнянні з одноставковим.

Для двозонного тарифу:

$$E_2 = N_1 n_n K_{T,n} T_1 + N_1 n_d K_{T,d} T_1 = N_1 n T_1 (n_n K_{T,n} / n + n_d K_{T,d} / n) = \\ = 100(8 \cdot 0,35 / 24 + 16 \cdot 1,35 / 24) = 101,7\%,$$

де $n_n = 8$ год. та $n_d = 16$ год. – тривалість роботи насосів відповідно у нічний та денний період; $K_{T,n} = 0,35$ та $K_{T,d} = 1,35$ – тарифні коефіцієнти, що застосовуються відповідно у нічний та денний періоди часу.

Для тризонного тарифу:

$$E_3 = N_1 n_n K_{T,n} T_1 + N_1 n_{np} K_{T,np} T_1 + N_1 n_p K_{T,p} T_1 = N_1 n T_1 (n_n K_{T,n} / n + \\ + n_{np} K_{T,np} / n + n_p K_{T,p} / n) = 100(7 \cdot 0,25 / 24 + 11 \cdot 1,02 / 24 + 6 \cdot 1,8 / 24) = 99,04\%,$$

де $n_n = 7$ год.; $n_{np} = 11$ год. та $n_p = 6$ год. – тривалість роботи насосів відповідно у нічний, напівпіковий та піковий період; $K_{T,n} = 0,25$; $K_{T,np} = 1,02$ та $K_{T,p} = 1,8$ – тарифні коефіцієнти, що застосовуються відповідно у нічний, напівпіковий та піковий періоди часу.

Враховуючи величину тарифних коефіцієнтів при багатозонній тарифікації, очевидно, що для зменшення вартості спожитої електроенергії доцільно максимально навантажувати насоси у нічний період і повністю виключати з роботи у піковий. Однак при цьому буде значно зростати необхідна годинна продуктивність водозабірних споруд. Так, якщо при рівномірній протягом доби роботі насосів їхня годинна витрата складає

$$q_{e,p} = 100 / 24 = 4,17\% \text{ від добового водоспоживання } Q_{\text{доб}},$$

то щоб забезпечити роботу насосів лише в нічний період з низьким тарифним коефіцієнтом, а отже найменшими експлуатаційними витратами, їхня подача має становити:

– при двозонних тарифах $q_{г,n} = 100 / 8 = 12,5\%$ від $Q_{\text{доб}}$, що втричі більше ніж при рівномірній подачі ($q_{г,n} / q_{г,p} = 12,5 / 4,17 = 3$);

– при тризонних тарифах $q_{г,n} = 100 / 7 = 14,29\%$ від $Q_{\text{доб}}$, що в 3,4 рази більше ніж при рівномірній подачі ($q_{г,n} / q_{г,p} = 14,29 / 4,17 = 3,4$).

Щоб забезпечити такі годинні витрати необхідно приблизно у стільки ж збільшувати і кількість робочих свердловин, що вимагає значних капітальних коштів на їх буріння, встановлення потрібного обладнання, насосних

агрегатів та підведення трубопроводів. Тому доцільно розглянути режими роботи водозабірних споруд, коли система буде певну кількість годин навантажуватися у денний період при двозонній тарифікації та напівпіковий – при тризонній. Чим більшим буде цей період, тим менша потужність водозбору потрібна, однак тим вища буде вартість спожитої електроенергії при застосуванні багатозонних тарифів. У табл. 3 і 4 наведено показники годинних витрат води q_T в % від $Q_{\text{доб}}$ та співвідношення $q_T / q_{T.p}$ залежно від тривалості годин роботи насосів у денний чи напівпіковий період доби.

Таблиця 3

Показники витрат води залежно від тривалості роботи насосів у денний період при двозонній тарифікації

Показники	Тривалість роботи насосів у денний період n_d , год																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
q_T , % від $Q_{\text{доб}}$	12,5	11,11	10	9,09	8,33	7,69	7,14	6,67	6,25	5,88	5,56	5,26	5	4,76	4,55	4,35	4,17
$q_T / q_{T.p}$	3	2,67	2,4	2,18	2	1,85	1,71	1,6	1,5	1,41	1,33	1,26	1,2	1,14	1,09	1,04	1

Таблиця 4

Показники витрат води залежно від тривалості роботи насосів у напівпіковий період при тризонній тарифікації

Показники	Тривалість роботи насосів у напівпіковий період n_{np} , год											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
q_T , % від $Q_{\text{доб}}$	14,29	12,5	11,11	10	9,09	8,33	7,69	7,14	6,67	6,25	5,88	5,56
$q_T / q_{T.p}$	3,43	3	2,67	2,4	2,18	2	1,85	1,71	1,6	1,5	1,41	1,33

Слід зазначити, що при зменшенні тривалості роботи насосів у денний чи напівпіковий період, крім зростання потрібної потужності водозбору, буде зростати ще й необхідна продуктивність водоочисної станції, а також місткість регулюючої споруди, оскільки при цьому збільшується нерівномірність подачі й забору води в ній протягом доби, що може призвести до додаткового збільшення капітальних витрат. Однак для точного визначення регулюючого об'єму необхідно, окрім режиму роботи свердловинних насосів, знати ще й графіки водоспоживання, якщо вода надходить споживачам з водонапірної башти, або режими роботи насосної станції другого підняття, якщо вода забирається з резервуара.

Разом з тим, при зменшенні тривалості роботи насосів у денний чи напівпіковий період доби будуть значно знижуватись експлуатаційні витрати на комунальних підприємствах водопостачання через низькі тарифи на електроенергію у нічний період.

Для наближених розрахунків припускаємо, що усі свердловини працюють в однакових умовах з однаковими насосами та дебітами і мають однакові питомі витрати електроенергії на подачу води. В такому випадку при

збільшенні годинної подачі води у нічний період, наприклад, утричі, у стільки ж разів зросте і необхідна кількість робочих свердловин, а отже і споживана на валу насосів потужність. Це дає можливість порівнювати вартість спожитої електроенергії при роботі системи з різним співвідношенням $q_r/q_{г.р}$ та застосуванні багатозонних тарифів з вартістю спожитої електроенергії за одноставковим тарифом при рівномірній подачі води, приймаючи E_1 , що визначається за формулою (1), за 100%.

Так, для наведеного прикладу, коли забір води свердловинами здійснюється лише в нічний період доби тривалістю 8 годин при дії двозонних тарифів, годинна подача, а отже і споживана насосами потужність, має бути втричі більшою ніж при рівномірному протягом доби режимі ($q_r = 3q_{г.р} = 3 \cdot 4,17 = 12,5\%$). Вартість спожитої електроенергії при цьому у порівнянні з одноставковим тарифом складе:

$$E_2 = 3N_1 n_n K_{Т.н} T_1 + 3N_1 n_d K_{Т.д} T_1 = 100(3 \cdot 8 \cdot 0,35/24 + 3 \cdot 0 \cdot 1,35/24) = 35\%.$$

Для випадку, коли застосовуються тризонні тарифи, тривалість нічного періоду становить 7 годин, отже при годинній подачі $q_r = 3q_{г.р}$ одну годину насоси повинні працювати у напівпіковий період. Вартість спожитої електроенергії при цьому у порівнянні з одноставковим тарифом складе:

$$E_3 = 3N_1 n_n K_{Т.н} T_1 + 3N_1 n_{нп} K_{Т.нп} T_1 = 100(3 \cdot 7 \cdot 0,25/24 + 3 \cdot 1 \cdot 1,02/24) = 34,6\%.$$

У табл. 5 та 6 наведено результати розрахунку вартості спожитої електроенергії при інших значеннях співвідношення між годинними подачами води залежно від тривалості роботи насосів у денний або напівпіковий період у порівнянні з рівномірним режимом роботи насосів протягом доби.

Таблиця 5

Результати розрахунку вартості електроенергії при двозонній тарифікації

$q_r, \%$	$3q_{г.р}$	$2,4q_{г.р}$	$2q_{г.р}$	$1,6q_{г.р}$	$1,5q_{г.р}$	$1,2 q_{г.р}$	$1,1 q_{г.р}$	$q_{г.р}$
$n_d, \text{ год}$	0	2	4	7	8	12	14	16
$E_2, \%$	35	55	68,3	81,7	85	95	98,6	101,7

Таблиця 6

Результати розрахунку вартості електроенергії при тризонній тарифікації

$q_r, \%$	$3,4q_{г.р}$	$3q_{г.р}$	$2,4q_{г.р}$	$2q_{г.р}$	$1,6q_{г.р}$	$1,5 q_{г.р}$	$1,41q_{г.р}$	$1,33q_{г.р}$
$n_{нп}, \text{ год}$	0	1	3	5	8	9	10	11
$E_3, \%$	25	34,6	48,1	57,1	66,1	68,3	70,3	72,1

За результатами табл. 5 і 6 побудовано графіки залежності вартості спожитої електроенергії E при застосуванні багатозонних тарифів і різній тривалості роботи насосів у денний або напівпіковий періоди в порівнянні з одноставковим тарифом і рівномірною подачею води протягом доби (рис. 2), з яких видно, що застосування багатозонних тарифів дає змогу значно

зменшити вартість спожитої електроенергії (до 3-4 разів), що суттєво знижує експлуатаційні витрати на комунальних підприємствах водопостачання.

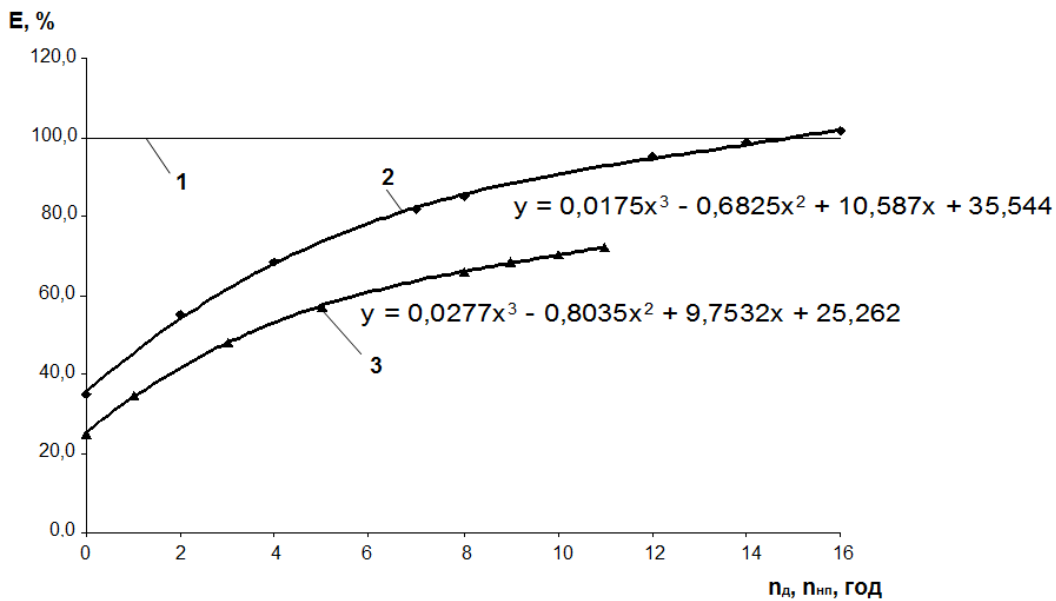


Рис. 2. Графіки вартості електроенергії: **1** – $E_1 = 100\%$ – за одноставковим тарифом при рівномірній подачі води протягом доби; **2** – $E_2 = f(n_d)$ – при дії двозонних тарифів; **3** – $E_3 = f(n_{нп})$ – при дії тризонних тарифів

При проектуванні нової водопровідної системи залежно від обсягу водоспоживання та дебіту свердловини доцільно розглянути кілька можливих варіантів з різною кількістю робочих свердловин та тривалістю роботи насосів у денний чи напівпіковий періоди, розрахувати капітальні витрати на будівництво та дослідити вартість електроенергії з урахуванням багатозонних тарифів при експлуатації споруд, провести техніко-економічні порівняння та вибрати варіант з найменшими приведеними витратами, що визначаються за формулою

$$\Pi = E_n K + E_e, \text{ грн./рік}, \quad (2)$$

де K – капіталовкладення або будівельні витрати, грн.; E_e – експлуатаційні витрати, грн./рік; E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який приймають рівним 0,12.

В діючих системах водопостачання при заборі підземних вод також доцільно досліджувати роботу споруд з різними режимами експлуатації та врахуванням багатозонних тарифів на електроенергію, що здійснюють за допомогою імітаційного моделювання на персональному комп'ютері. В умовах значного зниження водоспоживання протягом останніх десятиліть на багатьох водопроводах продуктивність існуючих водозабірних споруд суттєво перевищує потреби водоспоживачів. Тому актуальними є питання оптимізації роботи водозабірних свердловин з метою забезпечення найменших питомих витрат електроенергії в системі при подачі розрахункових витрат води. Місткість наявних регулюючих споруд може виявитись цілком достатньою при збільшенні нерівномірності подачі води в них насосами у разі застосування багатозонних тарифів на електроенергію. Так, дослідження і оптимізаційні розрахунки системи водопостачання з підземних джерел м. Чернігова

показали, що вартість спожитої електроенергії при використанні двозонних тарифів на 12,3%, а тризонних – на 28% нижча, ніж при одноставковому тарифі, що дає змогу суттєво зменшити експлуатаційні витрати без вкладення коштів у капітальне будівництво [7, 8].

Висновки. Вартість спожитої електроенергії становить одну з головних часток, що формують собівартість води, тому в умовах невпинного зростання тарифів на енергоресурси актуальними є заходи, спрямовані на зменшення енергоспоживання шляхом оптимізації сумісної роботи споруд в системах водопостачання та зниження витрат за споживану електроенергію при використанні багатозонних тарифів. Нічні тарифи для підприємств 3,8 рази нижчі, ніж у денний період доби при двозонній тарифікації, та у 7 разів нижчі, ніж у піковий період доби при застосуванні тризонних тарифів, тому в діючих системах водопостачання доцільно максимально завантажувати водозабірні споруди вночі та повністю виключати їх з роботи в пікові години найбільшого навантаження на енергосистему, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати комунальних підприємств. Проектуючи нові водопроводи, необхідно враховувати, що при зменшенні тривалості роботи насосів вдень виникає потреба у збільшенні потужності водозабору, продуктивності водоочисної станції та місткості регулюючих споруд, а це вимагає додаткових капітальних витрат, отже остаточне рішення приймають на основі техніко-економічного порівняння різних варіантів експлуатації системи водопостачання.

Список літератури

1. *Полищук С.И.* Энергосберегающие технологии для предприятий ЖКХ и не только... / С.И. Полищук, И.С. Кутрань // Вода і водоочисні технології, 2010, № 3-4. С. 64-67.
2. *Агеев М. К.* Современные направления оптимизации систем водоснабжения // Водоснабжение и санитарная техника, № 12, 2014. С. 4-14.
3. *Хоружий П.Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. К.: Аграрна наука, 2008. 534 с.
4. *Хомутецька Т.П.* Енергоощадне водопостачання / Т.П. Хомутецька К.: Аграрна наука, 2016. 304с.
5. *Інформ. ресурс* http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GK4298.html Постанова НКРЕ від 20.12.2001 № 1241 (із змінами та доповненнями).
6. *Інформ. ресурс* <https://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi> Тарифи на електричну енергію (крім населення).
7. *Хомутецька Т.П.* Дослідження доцільності застосування багатозонних тарифів на електроенергію у водопостачанні / Т.П. Хомутецька, Г.А. Сизоненко // Меліорація і водне господарство. Вип.101. К: ІВПІМ НААН, 2014. С. 112-123.
8. *Хомутецька Т.П.* Енергоощадне водопостачання: проблеми і рішення (на прикладі Чернігівського водопроводу) / Т.П. Хомутецька, Г.А. Сизоненко // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук-техн. зб. Вип.23. К.: КНУБА, 2014. С. 53-59.

Стаття надійшла до редакції 19.11.17u