

УДК 628.1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРТОСТІ СПОЖИТОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ З ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ ПРИ ЗМІНІ КОЕФІЦІЄНТА ЗОНУВАННЯ І ДІЇ БАГАТОЗОННИХ ТАРИФІВ

Г.А. СИЗОНЕНКО

Київський національний університет будівництва і архітектури

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, водозабірні свердловина, підземні води, вартість електроенергії, багатозонні тарифи

Постановка проблеми. Водопровідно-каналізаційна галузь заслуговує на особливу увагу при вирішенні проблем енергоефективності, оскільки є однією з найбільш енергоємних унаслідок експлуатації насосів, що споживають величезну кількість електроенергії під час подачі води. Значне подорожчання вартості енергетичних ресурсів для промисловості протягом останніх років (рис. 1) призвело до зростання собівартості води, оскільки одну з найвагоміших часток серед її складових становлять саме експлуатаційні витрати комунальних підприємств за спожиту електроенергію. Це є однією з головних причин підвищення тарифів на воду для різних категорій споживачів. У таких умовах на діючих водопроводах надзвичайно актуальними є питання енергозбереження, що може досягатися шляхом оптимізації сумісної роботи споруд у системах водопостачання, а також зниження витрат за спожиту електроенергію шляхом застосування багатозонних тарифів на насосних станціях при заборі підземних вод [1-9].

В Україні є величезний надлишок електроенергії в нічний час через велику різницю між денним і нічним енергоспоживанням. Для підвищення економічності та надійності роботи енергосистеми в цілому та раціонального її використання великого значення набуває організація більш рівномірного завантаження електромереж протягом доби, а тому держава шляхом впровадження двота-тризонної тарифікації та багатотарифних лічильників стимулює більше споживання електроенергії вночі з низькими тарифами.

Мета роботи – дослідити доцільність застосування багатозонних тарифів на електроенергію при заборі підземних вод свердловинами в системах водопостачання з різними режимами роботи насосів.

Методика наукових досліджень. Роботу виконували шляхом застосування чисельних та аналітичних методів досліджень та обробки отриманих результатів розрахунку витрат за спожиту електроенергію.

Межі тарифних зон та тарифні коефіцієнти при багатозонній тарифікації. Згідно [8, 9] при застосуванні дво- та тризонних тарифів диференційованих за періодами часу встановлюються тарифні коефіцієнти, наведені відповідно в табл. 1 та 2.

Дослідження ефективності застосування багатозонних тарифів в системах водопостачання. При заборі підземних вод свердловинами, як правило, протягом доби застосовують режим рівномірної подачі води насосами в регулюючу ємність. У цьому разі при використанні одноставкового тарифу добова вартість за спожиту електроенергію складе

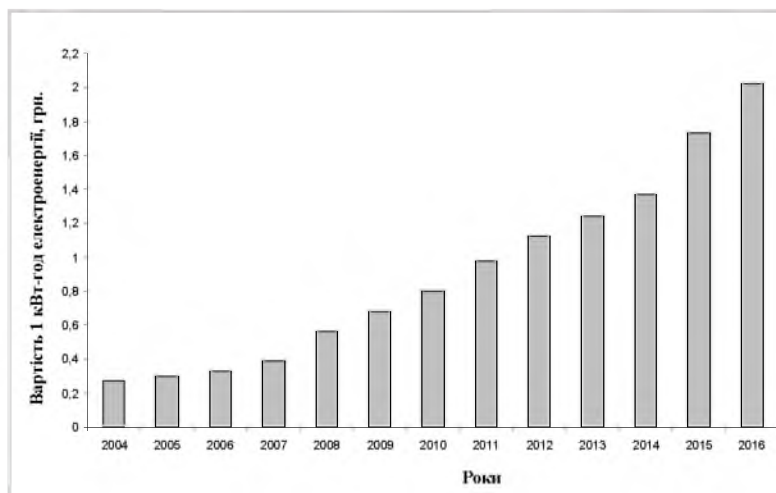


Рис. 1. Зростання вартості електроенергії для промисловості за роками

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

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

$$E_1 = N_1 n T_1, \text{ грн.} \quad (1)$$

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:

$$\begin{aligned} E_2 &= N_1 n_n K_{T_n} T_1 + N_1 n_d K_{T_d} T_1 = \\ &= N_1 n T_1 (n_n K_{T_n} / n + n_d K_{T_d} / n) = \\ &= 100(8 \cdot 0,35 / 24 + 16 \cdot 1,35 / 24) = 101,7\%, \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} E_3 &= N_1 n_n K_{T_n} T_1 + N_1 n_{np} K_{T_{np}} T_1 + N_1 n_p K_{T_p} T_1 = \\ &= N_1 n T_1 (n_n K_{T_n} / n + n_{np} K_{T_{np}} / n + n_p K_{T_p} / n) = \\ &= 100(7 \cdot 0,25 / 24 + 11 \cdot 1,02 / 24 + 6 \cdot 1,8 / 24) = \\ &= 99,04\%, \end{aligned}$$

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 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

$q_{г.р} = 100/24 = 4,17\%$ від добового водоспоживання $Q_{доб}$,

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 $q_{г.н} = 100/8 = 12,5\%$ від $Q_{доб}$, що втричі більше ніж при рівномірній подачі ($q_{г.н} / q_{г.р} = 12,5 / 4,17 = 3$);

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

Щоб забезпечити такі годинні витрати необхідно приблизно у стільки ж збільшувати і кількість робочих свердловин, що вимагає значних коштів на їх буріння, встановлення потрібного обладнання, насосних агрегатів та підведення трубопроводів. Тому доцільно розглянути режими роботи водозабірних споруд, коли система буде частково навантажуватися у денний період при двозонній тарифікації та напівпіковий – при тризонній. Для цього введемо поняття коефіцієнта зонування K_3 , що визначається як співвідношення годинних витрат у денний $q_{г.д}$ або напівпіковий $q_{г.нп}$ та нічний $q_{г.н}$ періоди роботи насосів, тобто в зонах дії високих і низьких тарифів:

- при двозонній тарифікації $K_3 = q_{г.д} / q_{г.н}$;
- при тризонній тарифікації $K_3 = q_{г.нп} / q_{г.н}$.

Коефіцієнт зонування змінюється в інтервалі від 0, якщо насоси працюють лише вночі, забезпечуючи добове водоспоживання, до 1, коли подача води у нічний, денний або напівпіковий періоди однакова. У табл.3 наведено розподіл годинних витрат води в різні періоди залежно від коефіцієнта зонування.

Слід зазначити, що при зменшенні коефіцієнта зонування крім зростання потрібної потужності водозабору буде зростати ще й необхідна місткість регулюючої споруди, оскільки при цьому збільшується нерівномірність подачі води у різні періоди 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.

Водночас, при зменшенні коефіцієнта зонування будуть значно знижуватись експлуатаційні витрати на комунальних підприємствах водопостачання через низькі тарифи на електроенергію у нічний період.

Для наближених розрахунків припускаємо, що всі свердловини працюють в однакових умовах з однаковими насосами та дебітами і мають однакові питомі витрати електроенергії на подачу води. У 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 дозволяє порівнювати вартість спожитої

електроенергії при роботі системи з різним коефіцієнтом зонування 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 годинна подача насосів у нічний період утричі більша ніж при рівномірному режимі ($q_{гн} = 3q_{гр} = 3 \cdot 4,17 = 12,5\%$), подача води у денний період при двозонних тарифах буде дорівнювати нулю ($q_{гд} = 0$), а в напівпіковий період при дії тризонних тарифів $q_{гзм} = (100 - 12,5 \cdot 7) / 11 = 1,14\%$, що становить $q_{гзм} = 1,14 / 4,17 = 0,27q_{гр}$. Вартість спожитої електроенергії при цьому складе:

- при двозонній тарифікації

$$E_2 = 3N_1 n_n K_{Тн} T_1 + 0N_1 n_d K_{Тд} T_1 = 100(3 \cdot 8 \cdot 0,35 / 24 + 0) = 35\%;$$

- при тризонній тарифікації

$$E_3 = 3N_1 n_n K_{Тн} T_1 + 0,27N_1 n_{зм} K_{Тзм} T_1 = 100(3 \cdot 7 \cdot 0,25 / 24 + 0,27 \cdot 11 \cdot 1,02 / 24) = 34,5\%.$$

У табл. 4 та 5 наведено результати розрахунку вартості споживаної електроенергії при інших значеннях співвідношення між годинними подачами води у нічний, денний і напівпіковий періоди порівняно з рівномірним режимом роботи насосів.

3. Розподіл годинних витрат води залежно від коефіцієнта зонування

Годинна витрата води, % від $Q_{доб}$	Коефіцієнт зонування K_z											
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
при двозонній тарифікації												
$q_{гн}$	12,5	10,42	8,93	7,81	6,94	6,25	5,68	5,21	4,81	4,46	4,17	
$q_{гд}$	0	1,04	1,79	2,34	2,78	3,13	3,41	3,65	3,85	4,02	4,17	
при тризонній тарифікації												
$q_{гн}$	14,29	12,35	10,87	9,71	8,77	8,0	7,35	6,8	6,33	5,92	5,56	
$q_{гзм}$	0	1,23	2,17	2,91	3,51	4,0	4,41	4,76	5,06	5,33	5,56	

4. Результати розрахунку вартості електроенергії при двозонній тарифікації

$q_{гн2}$, %	$3q_{гр}$	$2,5q_{гр}$	$2q_{гр}$	$1,5q_{гр}$	$1,2q_{гр}$	$q_{гр}$
$q_{гд2}$, %	0	$0,25q_{гр}$	$0,5q_{гр}$	$0,75q_{гр}$	$0,9q_{гр}$	$q_{гр}$
K_z	0	0,1	0,25	0,5	0,75	1
E_z , %	35,0	51,7	68,3	85,0	95,0	101,7

5. Результати розрахунку вартості електроенергії при тризонній тарифікації

$q_{гн2}$, %	$3,5q_{гр}$	$3q_{гр}$	$2,5q_{гр}$	$2q_{гр}$	$1,5q_{гр}$	$1,33q_{гр}$
$q_{гзм2}$, %	0	$0,27q_{гр}$	$0,59q_{гр}$	$0,9q_{гр}$	$1,22q_{гр}$	$1,33q_{гр}$
K_z	0	0,09	0,24	0,45	0,81	1
E_z , %	25,5	34,5	45,8	56,7	68,0	71,9

За результатами табл. 4 і 5 побудовано графіки залежності вартості спожитої електроенергії E при застосуванні багатозонних тарифів і зміні коефіцієнта зонування K_3 порівняно з одноставковим тарифом і рівномірною подачею води протягом доби (рис. 2).

Як видно з табл. 4 і 5 та рис. 2, застосування багатозонних тарифів дає змогу значно зменшити вартість спожитої електроенергії (до 3-4 разів), що суттєво знижує експлуатаційні витрати на комунальних підприємствах водопостачання.

Отже, при проектуванні нової водопровідної системи залежно від обсягу водоспоживання та дебіту свердловини доцільно розглянути кілька можливих варіантів її роботи з різною кількістю робочих свердловин та режимами експлуатації споруд залежно від коефіцієнта зонування, 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

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

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

У діючих системах водопостачання при заборі підземних вод також можливо досліджувати роботу споруд з різними режимами експлуатації для обґрунтування доцільності застосування багатотарифних лічильників на електроенергію. Значне зниження водоспоживання протягом останніх десятиліть призвело до ситуації, коли продуктивність існуючих водозабірних споруд набагато перевищує потреби водоспоживачів. За таких умов актуальними є питання оптимізації роботи водозабірних свердловин з метою забезпечення найменших питомих витрат електроенергії в системі при подачі розрахункових витрат води. Це досягається шляхом імітаційного моделювання сумісної роботи споруд за різними можливими варіантами експлуатації заглиблених відцентрових насосів протягом доби, використовуючи математичні залежності при розрахунках витрат води та

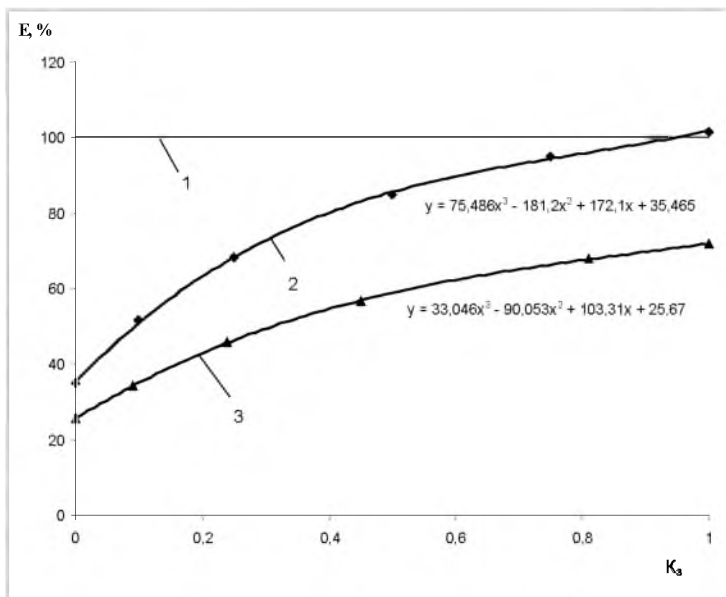


Рис. 2. Графіки вартості електроенергії:

- 1 – $E1 = 100\%$ – за одноставковим тарифом при рівномірній подачі води протягом доби;
- 2 – $E2 = f(K_3)$ – при дії двозонних тарифів;
- 3 – $E3 = f(K_3)$ – при дії тризонних тарифів

споживаної потужності та враховуючи межі тарифних зон з певними тарифними коефіцієнтами. 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, проведені на комунальному підприємстві "Чернігівводоканал", 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 [10, 11].

Висновки. Водопровідно-каналізаційна галузь по енергоспоживанню відноситься до найбільш енергоємних, а вартість спожитої електроенергії становить одну з головних часток, що формують собівартість води, тому актуальними є заходи, спрямовані на зменшення енергоспоживання шляхом оптимізації сумісної роботи споруд у системах водопостачання та зниження витрат за споживані енергоресурси при використанні багатозонних тарифів.

Нічні тарифи для підприємств при двозонній тарифікації більш ніж у 3,8 рази нижчі, ніж у денний період доби, а при тризонній тарифікації у піковий період доби більш ніж у 7 разів вищі, аніж у нічний час, тому в діючих системах водопостачання при достатній продуктивності доцільно макси-

мально завантажувати водозабірні споруди вночі, а в пікові години найбільшого навантаження на енергосистему всі водозабірні свердловини з роботи відключати, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати.

При проектуванні нових водопроводів, при збільшенні нерівномірності подачі води насосами у денний і нічний період залежно від коефіцієнта зонування, виникає потреба у збільшенні потужності водозаборів та місткості регулюючих споруд, що вимагає додаткових капітальних витрат і техніко-економічного порівняння різних варіантів.

Встановлено показники вартості електроенергії при дії багатозонних тарифів для різних коефіцієнтів зонування порівняно з одноставковим тарифом при рівномірній подачі води протягом доби. Це дозволяє обґрунтувати доцільність встановлення багатотарифних лічильників в системах водопостачання, а також при проектуванні нових водопроводів досліджувати режими роботи споруд із різним коефіцієнтом зонування, порівнювати капіталовкладення й вартість спожитої електроенергії при цьому та вибирати найбільш економічно вигідний варіант із найменшими приведеними витратами.

Бібліографія

1. Адаменко И. Потенциал энергоэффективности при водоснабжении и водоотведении – практические примеры в Украине / И. Адаменко, А. Ковтун. – WİLO Украина. – К.: 2009. – 7 с.
2. Скочило Д.Б. Гидравлическое моделирование как основа управления развитием и эксплуатацией системы подачи и распределения воды / Д.Б. Скочило, Л.И. Кантор, А.Ф. Хатыпов // Водоснабжение и санитарная техника, № 3, 2008. – С. 19-24.
3. Агаджанов Г.К. Пути снижения расхода электроэнергии в водопроводно-канализационном хозяйстве / Г.К. Агаджанов // Сб. докл. Межд. Конгресса "Экология, технология, экономика водопровода и канализации". – Ялта, 1999. – С. 47-49.
4. 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.
5. Агеев М.К. Современные направления оптимизации систем водоснабжения / М.К. Агеев // Водоснабжение и санитарная техника, № 12, 2014. – С. 4-14.
6. Хоружий П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.
7. Хомутецька Т.П. Енергоощадне водопостачання / Т.П. Хомутецька – К.: Аграрна наука, 2016. – 304 с.
8. Інформаційний ресурс http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GK4298.html Постанова НКРЕ від 20.12.2001 № 1241 (із змінами та доповненнями).
9. Інформаційний ресурс <https://kyivenergo.ua/ee-company/tarifi> Тарифи на електричну енергію (крім населення).
10. 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.
11. 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.

Сизоненко А.А.

Исследование стоимости потребленной электроэнергии в системах водоснабжения из подземных источников при изменении коэффициента зонирования и действии многозонных тарифов

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

Syzonenko H.A.

Research the value of consumed electric power in water supply systems from underground sources by change of the zoning coefficient and the effect of multi-zone tariffs

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.