

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РЕГУЛЬОВАНИХ ОБ'ЄМІВ ВОДИ В РЕЗЕРВУАРАХ ЛОКАЛЬНИХ СІЛЬГОСПВОДОПРОВОДІВ

Т.П. ХОМУТЕЦЬКА, О.В. РУБАН, П.Д. ХОРУЖИЙ, Д.В. ЧАРНИЙ

Інститут гідротехніки і меліорації НААН

Наведено методику розрахунку регульованого об'єму води в баку водонапірної башти залежно від значення максимального коефіцієнта погодинної нерівномірності водоспоживання.

Ключові слова: сільськогосподарський водопровід, водонапірна башта, регульований об'єм води, водопостачання

Існуюча проблема. При використанні підземних вод для забезпечення споживачів у системах сільськогосподарського водопостачання застосовують в основному локальні водопроводи, які мають такі характерні особливості [1]:

- наявність своїх джерел водопостачання;
- значна нерівномірність водоспоживання протягом доби внаслідок невеликої кількості водоспоживачів при рівномірній подачі води від насосної або водоочисної станції;
- компактність водоочисних установок з невеликою протяжністю водопровідних ліній.

Оскільки підземні води порівняно з поверхневими мають менший вміст різних домішок (завислих речовин і бактерій), то при їхньому використанні очисні споруди або зовсім відсутні, або вони значно дешевші та простіші.

Нині в системах сільгоспводопостачання локальні водопроводи найчастіше споруджують з використанням водозабірних свердловин і сталевих водонапірних башт за такими

технологічними схемами (рис. 1). Вода із свердловини 1 заглибним електронасосом 2 по водоводу 4 подається у водонапірну башту 5, а від неї – у розвідну водопровідну мережу 9.

Водонапірна башта призначена для регулювання нерівномірності подачі води насосом і споживання її в мережі, а також для створення і підтримання необхідних вільних напорів у ділянках на мережі (лінія 8).

Необхідний регульований об'єм води в баку башти W_p визначають методом суміщення графіків водоспоживання і подачі води насосами, а розрахункову глибину води цього об'єму – за формулою:

$$H_{\text{рег}} = 4W_p / \pi D_6^2, \text{ м}, \quad (1)$$

де D_6 – діаметр бака башти.

За наступними формулами визначають відмітку найнижчого рівня регульованого об'єму води в баку башти:

$$Z_1 = Z_d + H_{\text{в.д}} + \Sigma h, \text{ м}, \quad (2)$$

та потрібну висоту водонапірної башти від поверхні землі до відмітки Z_1 :

$$H_6 = Z_1 - Z_6 = H_{\text{в.д}} + \Sigma h - (Z_6 - Z_d), \text{ м}. \quad (3)$$

У цих формулах: $H_{\text{в.д}}$ – величина потрібного вільного напору в диктуючій точці на водопровідній мережі (найбільш несприятлива щодо забезпечення вільного напору точка мережі), м; Σh – сума втрат напору в трубопроводах на шляху від водонапірної башти до диктуючої точки, м; Z_6 і Z_d – відмітки поверхні землі в місцях розташування відповідно водонапірної башти і диктуючої точки.

Технологічну схему, показану на рис. 1, можна застосовувати, якщо якість підземної води відповідає вимогам до якості питної води.

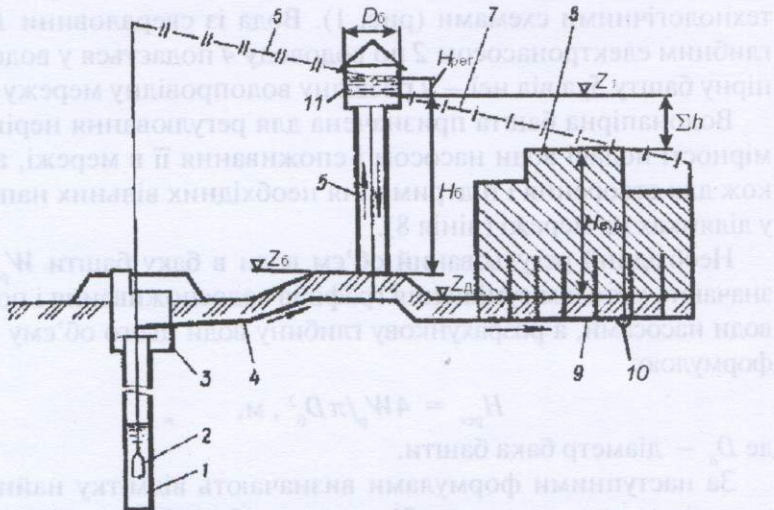


Рис. 1. Схема локального сільгоспводопроводу із підземних водних джерел:

1 – водозабірна свердловина; 2 – заглибний електронасос;
 3 – оголовок над свердловиною; 4 – водовід; 5 – водонапірна башта;
 6 – п'езометрична лінія у водоводі; 7 – те саме, у мережі в годину максимального водоспоживання; 8 – лінія потрібних вільних напорів на ділянках мережі; 9 – водопровідна мережа; 10 – диктуюча точка на мережі; 11 – регульований об'єм води в баку башти

В Україні майже 50% запасів підземних вод мають підвищений вміст заліза, і таку воду потрібно знезалізнювати. Для цього запропоновано багато технологій і водознезалізнювальних установок. Однією з найдешевших і найефективніших є баштова водознезалізнювальна установка, розроблена в ІГіМ НААН. У ній водоочисні засоби (біореактор і контактний прояснювальний фільтр) розміщуються в стволі сталевій водонапірній башті Рожновського, що значно зменшує капітальні та експлуатаційні витрати водоочисної станції, оскільки не потрібне приміщення для установок, резервуар чистої води і насосна станція з робочими та промивними насосами. Принцип роботи такої установки описано в [1].

У баку башти розміщується регульований запас води W_p глибиною $H_{\text{рег}}$, що визначається за формулою (1). Висота водонапірної башти в такій установці повинна бути більшою, ніж у схемі рис. 1, на величину втрат напору у фільтрувальних засобах:

$$H_6 = H_{\text{в.л}} + \sum h + h_{\text{ф.макс}} - (Z_6 - Z_d), \text{ м}, \quad (4)$$

де $h_{\text{ф.макс}}$ – максимальні втрати напору у фільтрувальних засобах у кінці фільтроциклу, тобто перед їхнім промиванням, м.

Як бачимо, при проектуванні локальних сільгоспводопроводів за розглянутими технологічними схемами виникає необхідність визначення об'ємів регульованих запасів води в баках водонапірних башт W_p .

Мета роботи. Метою даної роботи було встановлення залежності величини регульованого об'єму води W_p від максимальних коефіцієнтів погодинної нерівномірності водоспоживання $K_{\text{г.макс}}$ і розробка на цій основі більш зручної методики виконання таких розрахунків.

Результати досліджень. У нормативних документах щодо водопостачання [3, 4] рекомендовано формулу для визначення регульованого об'єму бака водонапірної башти:

$$W_p = Q_{\text{доб}} (1 - K_n + (K_r - 1)(K_n/K_r)^{K_r/(K_r - 1)}), \text{ м}^3, \quad (5)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – витрата води за добу максимального водоспоживання, м³/добу; K_n – максимальний коефіцієнт погодинної нерівномірності подавання води насосами в башту, як відношення максимальної до середньогодинної витрати; K_r – максимальний коефіцієнт погодинної нерівномірності водоспоживання, як відношення максимального водоспоживання до середньогодинного:

$$K_r = 24Q_{\text{г.макс}}/Q_{\text{доб}}, \quad (6)$$

де $Q_{\text{г.макс}}$ – витрата води за годину максимального водоспоживання, м³/год.

У роботі [4, с. 73] відмічається, що обчислення величини W_p за формулою (5) трудомістке, а тому його слід виконувати шляхом суміщення графіків подачі і витрачання води в башті.

Нами розроблено методику виконання таких розрахунків і проведено перевірку доцільності застосування формули (5) для визначення величини W_p не тільки з точки зору трудомісткості виконання розрахунків, але, головним чином, точності отриманих результатів.

Регульований об'єм води бака водонапірної башти (ВБ) визначається за формулою:

$$W_p = Q_{\text{доб}} P_{\text{max}} / 100, \text{ м}^3, \quad (7)$$

де P_{max} – регульований об'єм ВБ, % $Q_{\text{доб}}$, що визначається при суміщенні графіків надходження води у ВБ і водовідбору з неї за формулою

$$P_{\text{max}} = \alpha_{\text{max}} + |\alpha_{\text{min}}|, \%, \quad (8)$$

де α_{max} і α_{min} – максимальні ординати між інтегральними лініями подачі води насосами у ВБ і відбирання води відповідно за надлишком і нестачею і знаходяться як максимальне позитивне α_{max} та мінімальне від'ємне α_{min} числа, що визначаються для кожної години доби:

$$\alpha_i = \Sigma Q_{\text{н},i} - \Sigma Q_{\text{м},i}, \%, \quad (9)$$

де $\Sigma Q_{\text{н},i}$ та $\Sigma Q_{\text{м},i}$ – інтегральні відповідно подача води насосом і витрачання води в мережі для i -ї години доби, %, що визначається при послідовному додаванні витрат води насоса $Q_{\text{н},i}$ та водоспоживання в мережі $Q_{\text{м},i}$, %.

У табл. 1 наведено результати таких розрахунків для різних коефіцієнтів погодинної нерівномірності водоспоживання K_r .

При подачі води із свердловин у ВБ приймається, як правило, рівномірна і цілодобова робота заглибних електронасосів, тобто $K_{\text{н}} = 1$ з подачею води за кожен годину $Q_{\text{н},i} = 100/24 \approx 4,17\%$.

Погодинні витрати води $Q_{\text{м},i}$, % $Q_{\text{доб}}$, приймалися за [1, с. 19] для відповідних коефіцієнтів погодинної нерівномірності водоспоживання K_r .

Так, наприклад, для $K_r = 1,9$ (табл. 1 і рис. 2) $\alpha_{\text{max}} = 14,6\%$ буде в годину 4–5-ту, а $\alpha_{\text{min}} = -6,48\%$ – в годину 20–21-шу, тобто $P_{\text{max}} = 14,6 + 6,48 = 21,08\%$.

1. Результати розрахунку параметрів залежності $P_{\max} = f(K_r)$ для $K_H = 1$ і K_r в межах від 1,7 до 3,0

Го- дини	Інтегральні витрати і об'єми, % $Q_{\text{доб}}$ для K_r													
	1,7		1,8		1,9		2,0		2,5		3,0			
	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i	$\Sigma Q_{\text{м,і}}$	α_i		
0-1	4,17	1	3,17	0,9	3,27	0,85	3,32	0,75	3,42	0,6	3,57	0,6	3,57	
1-2	8,34	2	6,34	1,8	6,54	1,7	6,64	1,5	6,84	1,2	7,14	1,2	7,14	
2-3	12,51	3	9,51	2,7	9,81	2,55	9,96	2,5	10,01	2,4	10,11	1,8	10,71	
3-4	16,68	4	12,68	3,7	12,98	3,55	13,13	3,5	13,18	4,4	12,28	2,4	14,28	
4-5	20,85	6	14,8	5,05	15,8	6,25	14,60	6,5	14,35	7,9	12,95	3,0	17,85	
5-6	25,02	9	16,02	8,9	16,12	10,95	14,07	12	13,02	11,4	13,62	4,4	20,62	
6-7	29,19	14	15,19	14,1	15,09	16,30	12,89	17,5	11,69	15,9	13,29	6,5	22,69	
7-8	33,36	20,5	12,86	20,3	13,06	22,15	11,21	23	10,36	26,1	7,26	10,4	22,96	
8-9	37,53	27	10,53	25,8	11,73	26,65	10,88	26,5	11,03	34,9	2,63	18,5	18,83	
9-10	41,70	32,5	9,2	31,65	10,05	30,85	10,85	30	11,7	41,4	0,3	25	16,7	
10-11	45,87	37	8,87	36,65	9,22	36,35	9,52	36	9,87	45,5	0,27	30,2	15,67	
11-12	50,04	42,5	7,54	43,15	6,89	43,85	6,19	44,5	5,54	49,6	0,44	35,1	14,94	
12-13	54,21	49,5	4,71	50,65	3,56	51,75	2,46	53	1,21	53,1	1,11	39	15,21	
13-14	58,38	56,5	1,88	57,35	1,03	58,10	0,28	59	-0,62	56,6	1,78	43,3	15,08	
14-15	62,55	62	0,55	62,7	-0,15	63,30	-0,75	64	-1,45	61,3	1,25	47,2	15,35	
15-16	66,72	66,5	0,22	67,35	-0,63	68,10	-1,38	69	-2,28	67,5	-0,78	50,3	16,42	
16-17	70,88	71,5	-0,62	71,85	-0,97	72,10	-1,22	72,5	-1,62	77,9	-7,02	54,2	16,68	
17-18	75,04	78	-2,96	77,35	-2,31	76,60	-1,56	76	-0,96	87,3	-12,26	59,5	15,54	
18-19	79,20	84,5	-5,3	83,65	-4,45	82,80	-3,60	80	-0,8	94,6	-15,4	68	11,2	
19-20	83,36	89,5	-6,14	89	-5,64	88,50	-5,14	86	-2,64	96,2	-12,84	77,5	5,86	
20-21	87,52	94	-6,48	94	-6,48	94,00	-6,48	92	-4,48	97,8	-10,28	90	-2,48	
21-22	91,68	97	-5,32	97	-5,32	97,00	-5,32	97	-5,32	98,8	-7,12	97	-5,32	
22-23	95,84	99	-3,16	99	-3,16	99,00	-3,16	99	-3,16	99,4	-3,56	99	-3,16	
23-24	100	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0	
P_{\max}			22,5		22,6		21,08		19,67		29,02		28,28	

На рис. 3 показано графік зміни P_{\max} залежно від величини максимального коефіцієнта погодинної нерівномірності водоспоживання K_r при рівномірній подачі води у ВБ ($K_H = 1$). Як видно з цього графіка, не існує прямо пропорційної залежності P_{\max} від K_H , а тому виникає сумнів у точності формули (5) для визначення величини W_p , а отже, і доцільності її застосування.

З формул (5) і (7) бачимо, що при $K_H = 1$ формулу (5) можна записати так:

$$P'_{\max} = 100 \cdot (K_r - 1)(1/K_r)^{K_r/(K_r - 1)}, \% \quad (10)$$

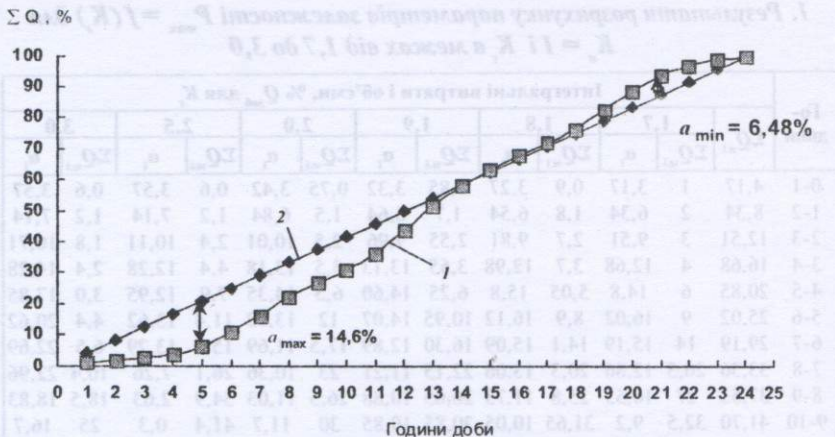


Рис. 2. Інтегральні лінії водоспоживання (1) і подачі води насосом (2) для $K_{II} = 1$ і $K_r = 1,9$

У графі 5 табл. 2 наведено значення похибок σ' , що виникають при користуванні формулою (10). Як бачимо, величина цих похибок може перевищувати 30%, а відтак користуватись цією формулою для визначення регульованих об'ємів ВБ нецільно.

Нами запропоновано таку емпіричну формулу для визначення величини P_{\max} :

$$P_{\max} = 449,96 - 36,416K_r^3 + 256,11 K_r^2 - 581,13 K_r, \quad (11)$$

за якою побудовано графік залежності $P_{\max} = f(K_r)$, показаний на рис. 3.

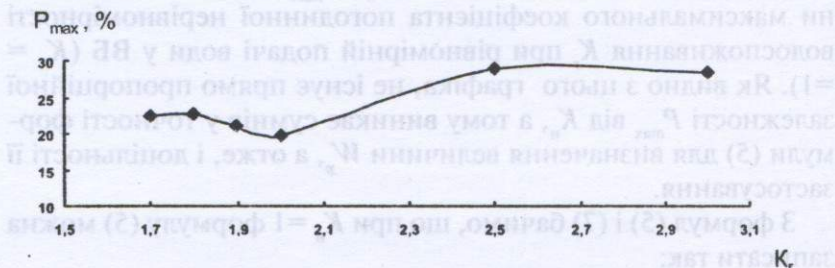


Рис. 3. Графік залежності $P_{\max} = f(K_r)$ при $K_{II} = 1$

У графі 8 табл. 2 наведено похибки σ'' , що виникають при користуванні формулою (11). Середнє стандартне відхилення не перевищує 3,5%, а для систем сільгоспводопостачання, у яких $K_r = 2,3-3,0$, ця похибка знаходиться в межах 0,2–1%.

2. Похибки при визначенні P_{\max} , %, за емпіричними формулами

K_r	P_{\max}	За формулою (10)			За формулою (11)		
		P'_{\max}	$\Delta P'$	σ'	P''_{\max}	$\Delta P''$	σ''
1,7	22,5	19,3	3,2	14,2	23,28	0,79	3,5
1,8	22,6	21,3	1,3	5,8	21,34	1,25	5,5
1,9	21,08	23,2	2,12	10,1	20,59	0,49	2,3
2	19,67	25	5,33	27,1	20,81	1,14	5,8
2,5	29,02	32,6	3,58	12,3	28,82	0,20	0,69
3	28,28	38,48	10,20	36,1	28,33	0,005	0,18

Середнє стандартне відхилення $\sigma''_{\text{ср}} = 3,49\%$.

Як користуватись запропонованою методикою, покажемо на такому прикладі.

Треба визначити регульований об'єм в баку башти при рівномірній подачі води із свердловини ($K_H = 1$), водоспоживанні $Q_{\text{доб}} = 100 \text{ м}^3/\text{добу}$ і $Q_{\text{г,макс}} = 10 \text{ м}^3/\text{год}$. За формулою (6) $K_r = 24 \cdot 10/100 = 2,4$, а за формулою (11) $P_{\max} = 27,17\%$ і формулою (7) $W_p = 100 \cdot 27,17/100 = 27,17 \text{ м}^3$. При діаметрі бака башти $D_6 = 3 \text{ м}$ розрахункова глибина води в ньому за формулою (1) буде $H_{\text{рег}} = 4 \cdot 27,17/3,14 \cdot 3^2 = 3,85 \text{ м}$.

Висновок. Використовувати формулу (10) для визначення регульованих об'ємів води ВБ в локальних сільгоспводопроводах є недоцільним, оскільки похибка в обчисленнях може перевищувати 30%. Для виконання таких розрахунків доцільно застосовувати наведену в статті методику. При використанні емпіричної формули (11) похибка у визначенні регульованого об'єму води ВБ у більшості випадків для систем сільгоспводопостачання не перевищує 1–2%.

1. Хоружий П.Д., Хомуцька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. — К.: Аграр. наука, 2008. — 534 с.

2. ДСанПіН. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання / МОЗ України. — № 383 від 23.12.1996 р.

3. СНиП 2.04.02 – 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения /Госстрой СССР. — М.: Стройиздат, 1985. — 136 с.

4. ВБН 46/33-2.5-5-96. Відомчі будівельні норми України. Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування. — К.: Держводгосп України, 1996. — 152 с.

Приведена методика расчетов регулиującego объема воды в баке водонапорной башни в зависимости от значения максимального коэффициента почасовой неравномерности водопотребления.

The article describes the method of calculation the regulatory volume of water in the tank water tower, depending on the value of the maximum rate of hourly water consumption inequality.