

628.12

А.М. ТУГАЙ, доктор технічних наук,

Т.П. ХОМУТЕЦЬКА, кандидат технічних наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ СИСТЕМ ІЗ ВЗАЄМОДІЮЧИМИ ВОДОЗАБІРНИМИ СВЕРДЛОВИНАМИ

Досліджено сумісну роботу водозабірних свердловин та наведено методику аналізування ефективності роботи взаємодіючих споруд при зміні їхніх гідравлічних характеристик у процесі експлуатації системи.

Ключові слова: свердловина; подача води; напір; питомий дебіт; гідравлічний опір; підземні води; сумісна робота.

Исследована совместная работа водозаборных скважин и представлена методика анализа эффективности работы взаимодействующих сооружений при изменении их гидравлических характеристик в процессе эксплуатации системы.

Ключевые слова: скважина; подача воды; напор; удельный дебит; гидравлическое сопротивление; подземные воды; совместная работа.

The article explores joint work of water supply wells and the method analyzing effectiveness of interacting construction during changes their hydraulic characteristics in service system.

Key words: borehole; water flow; pressure; specific flow rate; hydraulic resistance; groundwater; working together.

Для випадків подачі води із групи взаємодіючих водозабірних свердловин, зв'язаних між собою загальною системою трубопроводів, у резервуар або башту (рис. 1) за однакових умов сумісної роботи (забір води із однакового водоносного пласта, однакові насоси, питомі дебіти свердловин, їх взаємний вплив одна на одну і гідравлічні опори комунікацій) подача води із кожної свердловини буде однаковою:

$$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n . \quad (1)$$

Для такого випадку подача води із свердловини визначається за формулою [1]:

$$Q_i = \frac{-1/q\beta + \sqrt{(1/q\beta)^2 + 4(H_\phi - H_r)(S_\phi + S_k + n^2 S_b)}}{2(S_\phi + S_k + n^2 S_b)}, \quad (2)$$

де β – коефіцієнт, що враховує зменшення питомого дебіту свердловини q внаслідок відкачування води з інших свердловин; n – загальна кількість свердловин; H_r – геометрична висота водопідйому від статичного рівня води в свердловині до розрахункового рівня води в резервуарі, м; S_k і S_b – гідравлічні опори відповідно у комунікаціях насосної установки і водоводу, $(с/л)^2м$; H_ϕ і S_ϕ – параметри, що обчислюються за формулами:

$$H_\phi = H_1 + S_\phi Q_1^2 = H_2 + S_\phi Q_2^2; \quad (3)$$

$$S_\phi = \frac{H_1 - H_2}{Q_2^2 - Q_1^2}, \quad (4)$$

де H_1 і H_2 – напори насоса при подачі ним витрат води відповідно Q_1 і Q_2 , які приймають із характеристики $Q-H$ насоса в зоні його рекомендованого застосування (у зоні найвищого ККД) [1].

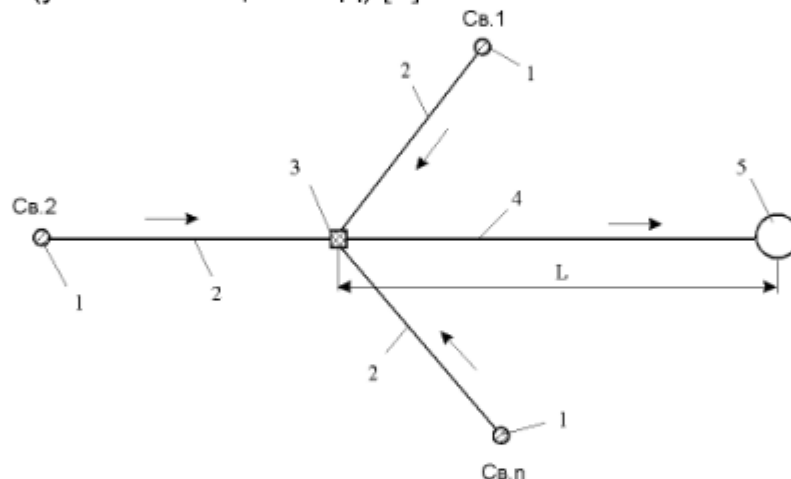


Рис. 1. Схема подачі води в резервуар із n однакових свердловин:

1 – свердловина; **2** – з'єднувальні комунікації; **3** – вузол підключення свердловин; **4** – спільний водовід; **5** – резервуар

При відкачуванні води із взаємодіючих свердловин у кожній з них відбувається додаткове зниження рівня внаслідок відкачування води із сусідніх свердловин. Це призводить до зменшення дебіту взаємодіючої свердловини порівняно з незалежно працюючою одиночною свердловиною до величини

$$Q' = \beta Q = \beta S q_{\text{лит}}. \quad (5)$$

Для свердловин, що забирають воду з напірних водоносних пластів, величину коефіцієнта β визначають за формулою

$$\beta = \frac{S}{S + \Delta S}, \quad (6)$$

де ΔS – додаткове зниження рівня води в даній свердловині внаслідок відкачування води із сусідніх взаємодіючих свердловин, м.

Найточніше величину ΔS , а отже, і коефіцієнта β визначають дослідними відкачуваннями води із свердловин.

За відсутності даних гідрогеологічних досліджень при відкачуванні води з якої-небудь однієї свердловини витратою Q зниження рівня води в інших свердловинах можна визначати за формулою

$$S_i = 0,37 \frac{Q \lg(R/r_i)}{K_\phi m}, \text{ м,} \quad (7)$$

де l – відстані від дослідної свердловини до кожної із сусідніх свердловин, м.

Для дослідної свердловини величину l приймають рівною її радіусу r_0 . Отже, коефіцієнти β будуть визначатися за формулою

$$\beta = \frac{\lg(R/r_0)}{\sum \lg R/r_i}. \quad (8)$$

З формули (8) видно, що чим більшим буде радіус впливу R і чим меншими будуть відстані від даної свердловини до сусідніх свердловин l , тим меншим буде коефіцієнт β , тобто тим сильнішим буде взаємодія на витрату води з дослідної свердловини.

Більш складним буде розрахунок сумісної роботи всіх взаємопов'язаних споруд для випадку підключення свердловин до спільного водоводу за схемою рис. 2 і при різному їх взаємному впливові одна на одну.

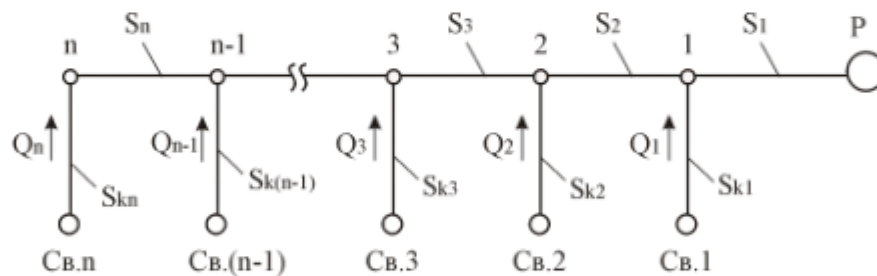


Рис. 2. Схема подачі води в резервуар із n свердловин по спільному водоводу

Для такого випадку подачу води із кожної свердловини визначають на ЕОМ шляхом ітерації за формулою

$$Q_i = \frac{-1/q_i \beta_i + \sqrt{(1/q_i \beta_i)^2 + 4(H_{\phi,i} - H_{r,i})(S_{k,i} + S_{v,i} + S_{\phi,i})}}{2(S_{k,i} + S_{v,i} + S_{\phi,i})}, \quad (9)$$

де $S_{v,i}$ – умовний гідравлічний опір усіх загальних ділянок водоводу для кожної із n свердловин при подачі з неї витрати Q_i , який обчислюється із системи рівнянь, $(\text{с/л})^2 \text{м}$:

$$\text{для Св.1} \quad S_{v1} = \frac{\left(\sum_1^n Q_i \right)^2 S_1}{Q_1^2};$$

$$\text{для Св.2} \quad S_{\text{в.2}} = \frac{\left(\sum_1^n Q_i\right)^2 S_1 + \left(\sum_1^n Q_i - Q_1\right)^2 S_2}{Q_2^2};$$

.....

$$\text{для Св.п} \quad S_{\text{в.п}} = \frac{\left(\sum_1^n Q_i\right)^2 S_1 + \left(\sum_1^n Q_i - Q_1\right)^2 S_2 + \dots + Q_n^2 S_n}{Q_n^2}, \quad (10)$$

де Q_1, Q_2, \dots, Q_n – витрати води з кожної свердловини, які потрібно знайти, л/с;
 $\sum_1^n Q_i$ – загальна (сумарна) витрата води з цих свердловин, л/с; $q_i \beta_i$ – питомий
 дебіт кожної свердловини з урахуванням їхньої взаємодії, л/с·м; $H_{г.і}$ –
 геометрична висота водопідйому для кожної із свердловин, м.

Розрахунок ведуть у такій послідовності: спочатку задають витрати
 води із кожної свердловини Q_i і їх суму $\sum_1^n Q_i$. Потім за формулами із системи
 рівнянь (10) обчислюють значення гідравлічного опору $S_{\text{в.і}}$, а потім за
 формулою (9) уточнюють значення витрати води Q_i .

Розрахунок закінчують, якщо для кожної свердловини різниця між
 попереднім $Q_{i(k)}$ і наступним $Q_{i(k+1)}$ значеннями витрат води не перевищує
 допустимої похибки ΔQ :

$$\left| Q_{i(k)} - Q_{i(k+1)} \right| - \Delta Q \leq 0. \quad (11)$$

Якщо ця умова не виконується, то розрахунок продовжують з
 витратами $Q_{i(k+1)}$ до тих пір, поки не буде виконуватись нерівність (11) для всіх
 водозабірних свердловин.

Дослідимо сумісну роботу всіх взаємодіючих споруд системи на такому
 прикладі. Розглянемо систему із п'яти водозабірних свердловин, які зв'язані
 між собою спільним водоводом, що подає воду в збірний резервуар (рис. 3).
 Свердловини розташовані по прямій лінії на відстані одна від одної 200 м і
 забирають воду з одного водоносного пласта, що має характеристики: радіус
 впливу групи свердловин $R = 1200$ м; коефіцієнт фільтрації $K_f = 20$ м/добу;
 глибина статичного рівня $H_{ст} = 8,2$ м; питомі дебіти свердловин $q = 1,4$ л/с·м;
 радіус свердловини $r = 0,1$ м. В усіх свердловинах встановлено однакові
 заглибні насоси ЕЦВ 10-120-60 з характеристиками $H_f = 77,25$ м і $S_f = 0,0148$
 (с/л)²м.

Гідравлічні опори комунікацій можна обчислити за формулою

$$S_k = \frac{13(\Delta h_{щ} + 1,1 \cdot A_T \cdot l)}{Q_k^2}, \quad (12)$$

де $\Delta h_{щ}$ – втрати напору у щілині між електродвигуном заглибного насоса і
 експлуатаційною обсадною трубою, м; A_T і l – відповідно питомий опір, с²/м⁶, і
 довжина водопідйомних труб, м, у свердловині; 1,1 – коефіцієнт, який

враховує місцеві опори у водопідйомних трубах; Q_n – розрахункова витрата води із свердловини, л/с; 13 – перевідний коефіцієнт ($13 \approx 3,6^2$).

Втрати напору $\Delta h_{\text{щ}}$ визначаються за формулою

$$\Delta h_{\text{щ}} = \frac{0,04l_e + 0,3(D_c - D_e)}{12,1(D_c + D_e)^2 (D_c - D_e)^3} Q_c^2, \text{ м}, \quad (13)$$

де l_e – довжина електродвигуна, м; D_c – внутрішній діаметр експлуатаційної обсадної колони свердловини, м; D_e – діаметр електродвигуна, м; Q_c – витрата води, що забирається із свердловини, м³/с.

При $Q_n = 30,0$ л/с $S_k = 0,0173$ (с/л)²м.

Гідравлічні опори ділянок трубопроводів між точками підключення свердловин, (с/л)²м, обчислюють за формулою

$$S_B = A_B \cdot L_B, \text{ (с/м}^3\text{)}^2 \text{ м}, \quad (14)$$

де A_B – питомий гідравлічний опір водоводу, с²/м⁶, який приймають залежно від матеріалу і діаметра труб та строку їх експлуатації; L_B – довжина водоводу, м.

Обчислені за формулою (14) гідравлічні опори ділянок трубопроводів між точками підключення свердловин показано на рис. 3. Геометрична висота водопідйому $H_r = 10$ м, а розрахункова подача води з усіх свердловин $Q_p = 150$ л/с.

Рішення. При визначенні коефіцієнтів β_i для всіх свердловин, наведених в табл.1 за формулою (8) були обчислені відповідні їм значення $\lg(R/n)$.

Таблиця 2

Результати розрахунку сумісної роботи водозабірних свердловин

№ свердловини	$\Sigma \lg(R/n)$	Коефіцієнт β_i	Питомий дебіт $q_i \beta_i$, л/с-м	Витрата води із свердловини, Q_i , л/с	Зниження рівня води S_i , м	Глибина динамічного рівня $H_{д,i}$, м	Відмітка динамічного рівня $Z_{д,i}$, м
1	5,811	0,7	0,98	32,4	33,1	41,3	58,7
2	6,413	0,63	0,88	30,8	35,0	43,2	56,8
3	6,589	0,62	0,87	30,3	34,8	43,0	57,0
4	6,413	0,63	0,88	29,9	34,0	42,2	57,8
5	5,811	0,7	0,98	30,7	31,3	39,5	60,5

$$\Sigma Q_i = 154,1 \text{ л/с}$$

Результати розрахунків гідродинамічних характеристик взаємодіючих свердловин наведено в табл. 2, а сумісної роботи насосів при подачі води з цих свердловин – у табл.3.

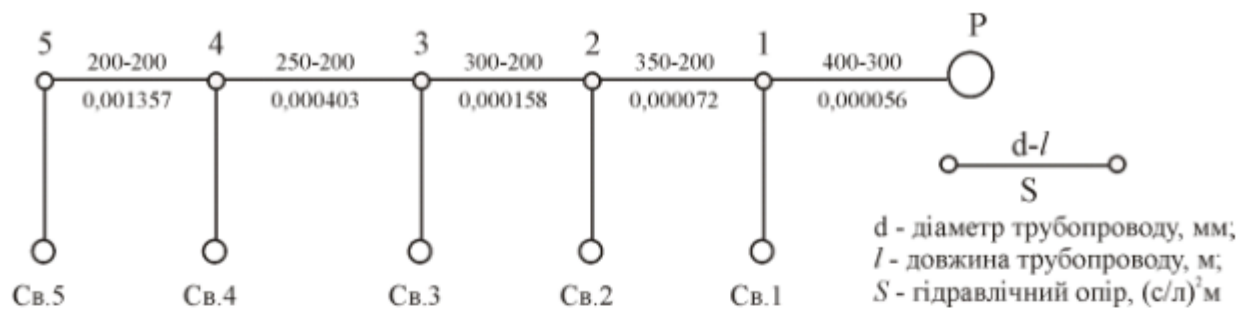


Рис.3. Схема подачі води в резервуар із п'яти свердловин по спільному водоводу

Таблиця 3

Результати розрахунку сумісної роботи заглибних насосів при подачі води із свердловин

№ свердловини	Подача насоса $Q_{н.і}$, л/с	Напір насоса $H_{н.і}$, м	Втрати напору, м		П'єзометрична відмітка у вузлі $Z_{п.і}$, м
			в комунікаціях	у збірному водоводі	
1	32,4	61,7	18,2	1,33	102,2
2	30,8	63,2	16,4	1,07	103,6
3	30,3	63,7	15,9	1,31	104,8
4	29,9	64,0	15,5	1,48	106,3
5	30,7	63,3	16,3	1,28	107,5

На рис.4 показано розрахункові п'єзометричні лінії у водоносному пласті і напірному збірному водоводі при подачі води заглибними електронасосами від усіх п'яти гідравлічно взаємодіючих свердловин.

Аналіз результатів отриманих досліджень, що наведені в табл. 2 і 3, показує, що найбільша подача води буде з першої свердловини (св.1), яка знаходиться найближче до водозбірного резервуара 4 та має такий же, як і в п'ятій свердловині (св.5), найменший вплив від інших свердловин. Найменша подача води буде з четвертої свердловини (св.4), що має відносно великий вплив взаємодії з іншими свердловинами ($\beta = 0,63$) та більш віддалена від збірного резервуара 4, ніж центральна свердловина (св.3). Цікаво, що дебіт найвіддаленішої п'ятої свердловини (св.5) майже такий, як і у другій свердловини (св.2) і більший, ніж у третьої і четвертої свердловин.

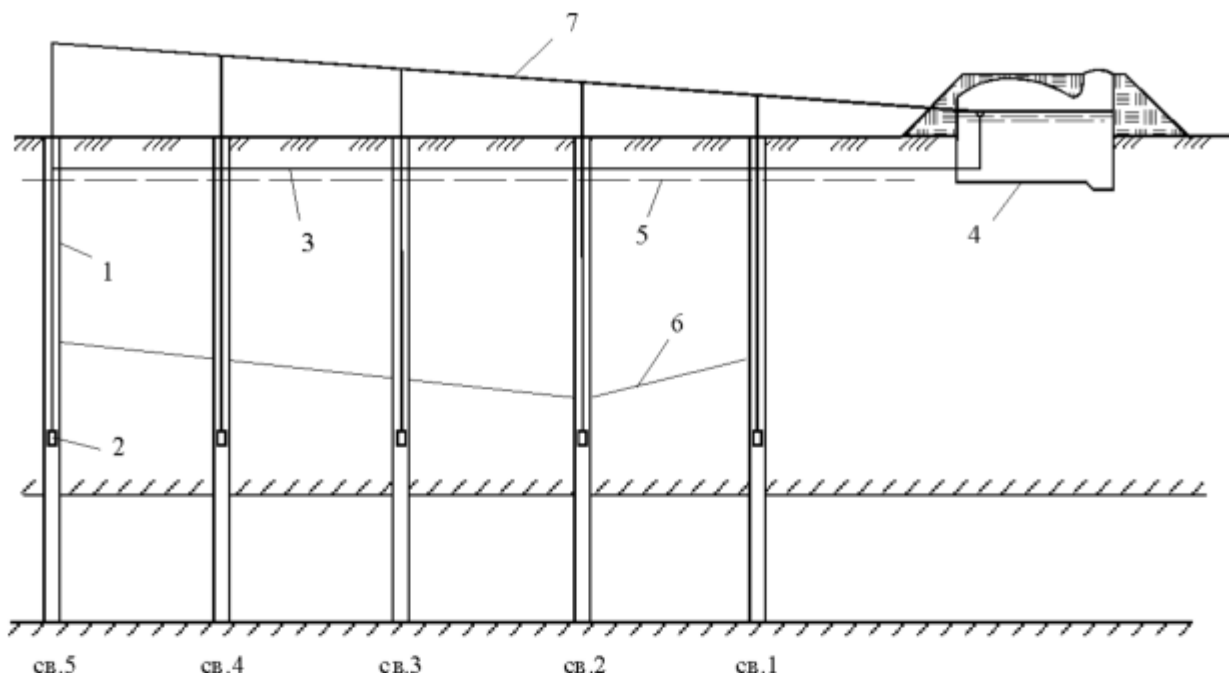


Рис. 4. Розрахункова схема забору води з п'яти взаємодіючих свердловин: **1** – водозабірна свердловина; **2** – заглибний електронасос; **3** – напірний збірний водовід; **4** – підземний водозбірний резервуар; **5** – лінія статичного рівня води; **6** – лінія гідродинамічного рівня при відкачуванні води із п'яти свердловин; **7** – лінія п'езометричного напору у напірному збірному водоводі.

Висновок

За даною методикою можна проводити аналіз ефективності роботи взаємодіючих споруд при зміні їхніх гідравлічних характеристик у процесі експлуатації системи (Q - H заглибних насосів або зростання гідравлічного опору фільтрів) [2-5], на основі якого розробляти заходи щодо реконструкції діючої водопровідної системи для забезпечення подачі розрахункових витрат води та зменшення її собівартості.

Список літератури

1. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534с.
2. Прокопчук І.Т., Тугай Я.А. Оптимізація роботи артезіанських свердловин. – К.: ВАТ "ВНІПІТРАНСГАЗ". – 1998. – 82с.
3. Тугай А.М. Методика розрахунку фільтраційних опорів свердловин // Водне господарство України. – 2001. – № 3-4. – С.27-31.
4. Тугай А.М. Використання методу фільтраційних опорів для розрахунку підземних водозаборів // Водне господарство України. – 2001. – № 1-2. – С.29-32.
5. Тугай А.М. Визначення динаміки зміни рівнів води свердловин при їх кольматації сполуками заліза // Вісник РДТУ. – Рівне. – 2002. – № 1 (14). – С. 107-115.