

П.Д. ХОРУЖИЙ, доктор технічних наук
Т.П. ХОМУТЕЦЬКА, кандидат технічних наук
Інститут водних проблем і меліорації НААН

БРАХУВАННЯ ЗМІНИ ГІДРАВЛІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПОРУД ПРИ РОЗРАХУНКАХ ПОДАЧІ ВОДИ ІЗ СВЕРДЛОВИН

Розглянуто фактори, що впливають на зміну подачі води із водозабірних свердловин. Обчислено значення питомих гідравлічних опорів сталевих труб без внутрішнього захисного покриття у різні строки і при середніх умовах їх експлуатації.

Ключові слова: свердловина, питомий дебіт, витрата води, втрати напору, заглибний відцентровий насос, гідравлічний опір.

Рассмотрены факторы, которые влияют на изменения подачи воды из водозаборных скважин. Вычислены значения удельных гидравлических сопротивлений стальных труб без внутреннего защитного покрытия в различные сроки и при средних условиях их эксплуатации.

Ключевые слова: скважина, удельный дебит, расход воды, потери напора, погружной центробежный насос, гидравлическое сопротивление.

The article discusses factors that influence the change of the water supply from water wells. Calculated values of specific hydraulic resistance of steel pipes without internal protective coating to various terms and middle conditions of exploitation.

Key words: borehole, specific flow rate, water flow, pressure loss, submersible centrifugal pumps, hydraulic resistance.

При експлуатації водозабірних свердловин відбувається в часі зменшення подачі води з них, основними причинами якого є [1]:

- зниження статичного рівня води у водоносному пласті внаслідок зменшення запасів підземних вод;
- зменшення питомого дебіту свердловини внаслідок збільшення фільтраційного опорн у фільтрі і прифільтровій зоні;
- зміна гідравлічної характеристики заглибного відцентрового насоса внаслідок фізичного зношення його робочих елементів;
- збільшення гідравлічного опору сталевих водопідйомних труб і водоводів, що не мають внутрішнього захисного покриття, внаслідок хімічної корозії та відкладень з осадів, які виділяються з води.

Це призводить до незабезпечення споживачів розрахунковою витратою води та збільшення питомих витрат електроенергії і собівартості відкачуваної води. Тому при проектуванні систем подачі і розподілу води (СПРВ) з водозабірними свердловинами потрібно враховувати ці явища. Знайти оптимальне рішення для таких систем можна тільки на основі розрахунків сумісної роботи всіх взаємодіючих споруд з урахуванням зміни їх характеристик протягом часу експлуатації.

Як відомо [2], витрату води із однієї свердловини в напірний резервуар (башту) можна визначити графічним або аналітичним методами. Графічним методом (рис.1) подача насоса визначається абсцисою точки А, що утворюється при пересіканні гідравлічної характеристики руху води від свердловини до башти 3 з характеристикою $Q-H$ насоса, зменшеною на зниження статичного рівня води в свердловині, що визначається за формулою

$$S = Q/q, \quad (1)$$

де S – зниження статичного рівня води в свердловині, м, при відкачуванні з неї витрати води Q , м³/год, та питомому дебіті q , м³/год·м.

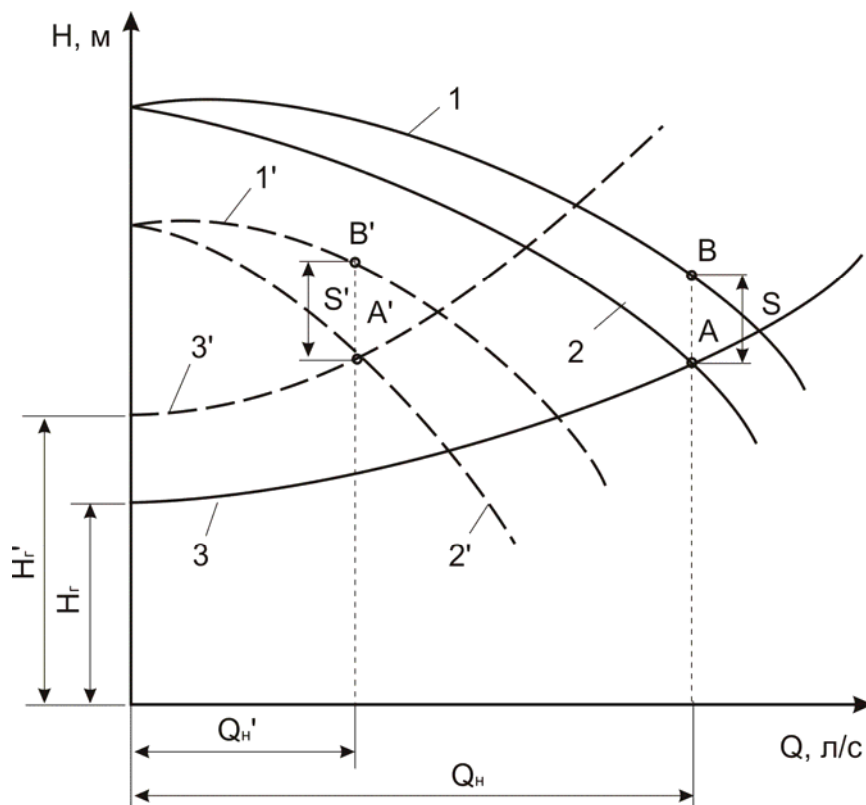


Рис.1. Графічний розрахунок подачі води із свердловини в напірний резервуар:
1 і 1' – характеристика $Q-H$ заглибного насоса відповідно на початку і через T років експлуатації; **2 і 2'** – те саме, з урахуванням зниження рівня води в свердловині відповідно $S = Q/q$ та $S' = Q/q'$; **3 і 3'** – гідравлічна характеристика відповідно нового і старого трубопроводу від динамічного рівня води свердловини до башти

Лінія 3 на рис.1 будується з висоти H_r на осі ординат за рівнянням

$$H = H_r + (S_k + S_b) Q^2, \quad (2)$$

де H_r – геометрична висота водопідйому від статичного рівня води в свердловині до розрахункового рівня води в башті, м; S_k і S_b – гідравлічні опори, відповідно, у комунікаціях насосної установки і водоводу, $(с/л)^2$ м;

Відрізок АВ визначає величину зниження статичного рівня води в свердловині S , абсциса точки А – величину подачі насоса Q_n , а ордината точки В – величину його напору H_n .

Після експлуатації СПРВ тривалістю T років характеристики споруд змінюються (рис.1): характеристика $Q-H$ насоса визначається графіком 1'; питомий дебіт свердловини $q' < q$, а отже за рівнянням (1) $S' > S$; гідравлічний опір трубопроводів $S_b' > S_b$ і геометрична висота водопідйому $H_r' > H_r$, а отже, за формулою (2) $H' > H$.

Для нових умов роботи СПРВ подача заглибного насоса визначається абсцисою точки А', що утворюється при перетинанні ліній 2' і 3'.

З рис. 1 бачимо, що ця подача $Q_n' < Q_n$.

Аналітичним методом розрахункова витрата води, л/с, що подається насосом із свердловини в напірних водоносних пластах, визначається [2] за формулою

$$Q_n = \frac{-1/q + \sqrt{(1/q)^2 + 4(H_\phi - H_r)(S_k + S_b + S_\phi)}}{2(S_k + S_b + S_\phi)}, \quad (3)$$

де H_ϕ і S_ϕ – параметри аналітичної характеристики $Q-H$ відцентрових насосів.

Для визначення величини Q_n' у формулу (3) необхідно підставляти відповідні значення характеристик споруд у нових умовах їх сумісної роботи: q' ; H_ϕ' ; H_r' ; S_k' ; S_b' і S_ϕ' .

Великий обсяг робіт з дослідження зміни гідравлічних і енергетичних характеристик насосів ЕЦВ внаслідок їх фізичного зношення був виконаний І.Т.Прокопчуком і Я.А.Тугаєм [3-6].

Наші дослідження [7] показали, що у всіх зношених насосів параметр H_ϕ зменшується, а параметр S_ϕ , який характеризує інтенсивність падіння напору насоса при збільшенні його продуктивності, залежить від марки насоса, тобто його конструктивних особливостей і для більшості насосів залишається майже без змін.

У наукових роботах [8, 9] показано, що у свердловинах, обладнаних фільтрами, внаслідок низки причин може поступово відбуватися кольматація фільтрів і прифільтрової зони, що спричиняє збільшення фільтраційного опору руху води із водоносного пласта у свердловину, а отже, зростання втрат напору на цьому шляху та додаткове зниження рівня води в свердловині, що призводить до зменшення питомого дебіту свердловини:

$$q = \frac{2\pi K_\phi m}{\ln \frac{R}{r} + \xi_y} = \frac{2,73 K_\phi m}{\lg \frac{R}{r} + 0,43 \xi_y}, \quad (4)$$

де K_{ϕ} і m – коефіцієнт фільтрації і потужність водоносного пласта; R – радіус впливу, тобто радіус депресійної воронки, що утворюється навколо свердловини при заборі із неї води; r – радіус свердловини; ξ_y – узагальнений фільтраційний опір, який враховує недосконалість свердловини:

$$\xi_y = \xi_1 + \xi_2, \quad (5)$$

ξ_1 і ξ_2 – фільтраційні опори, що враховують недосконалість свердловин, відповідно, за ступенем і характером розкриття водоносного пласта.

При кольматації фільтра збільшується фільтраційний опір ξ_2 , а отже і ξ_y , що призводить до зменшення питомого дебіту свердловини q , а відповідно і витрати з неї води.

Отже для прогнозування зміни подачі води із свердловини, користуючись формулою (3), необхідно знати залежності зміни у часі всіх параметрів, що входять у цю формулу.

У даній роботі виконано дослідження зміни у часі гідравлічного опору S_b сталевих трубопроводів, що не мають внутрішнього захисного покриття.

Як показали дослідження багатьох авторів [10-14], у процесі експлуатації металевих водопровідних труб відбуваються зміни їх гідравлічних опорів внаслідок збільшення відносної макрошорсткості, яка залежить від матеріалу труб, строку їх експлуатації, якості транспортованої води і ступеня захищеності внутрішньої поверхні труб від дії корозії. Це призводить до збільшення питомого гідравлічного опору трубопроводів за виразом

$$A_t = A_0 K_s, \quad (6)$$

де A_0 – питомий гідравлічний опір нових сталевих труб, $\text{с}^2/\text{м}^6$; K_s – коефіцієнт збільшення гідравлічних опорів цих труб у процесі їх експлуатації.

За даними нормативних документів [15, додаток 10], питомий гідравлічний опір нових сталевих труб, $\text{с}^2/\text{м}^6$, при виконанні гідравлічних і техніко-економічних розрахунків СПРВ на ПК слід визначати за формулою

$$A_0 = 0,00179 / d_p^{5,1}, \quad (7)$$

де d_p – розрахунковий внутрішній діаметр труб, м.

О.А.Ткачуком [10-12, 14] запропоновано для практичних розрахунків гідравлічних опорів сталевих трубопроводів без внутрішнього захисного покриття і середніх умовах їх експлуатації визначати коефіцієнт K_s за формулою

$$K_s = [1 + 2\lg(1 + T)] \left[1 - \frac{4\sqrt[3]{(1 + 2\lg(1 + T))}}{d_p} \right]^{-2,5}, \quad (8)$$

де T – строк експлуатації трубопроводу, роки.

За формулою (8) було обчислено значення коефіцієнтів K_s для металевих трубопроводів різних діаметрів при середніх умовах і різних строках їх експлуатації, які наведено в табл. 1.

За даними табл. 1 побудовано графіки $K_s = f(T; d_y)$, представлені на рис.2.

Таблиця 1

**Коефіцієнти збільшення гідравлічних опорів металевих трубопроводів
у процесі їх експлуатації**

T, роки	Коефіцієнт K_s для труб з умовним діаметром d_y , мм						
	50	75	100	150	200	250	300
0,5	1,70	1,58	1,51	1,46	1,43	1,41	1,40
1	2,05	1,88	1,80	1,73	1,70	1,68	1,66
3	2,89	2,63	2,51	2,40	2,35	2,32	2,30
5	3,42	3,10	2,95	2,81	2,74	2,71	2,68
10	4,20	3,78	3,58	3,40	3,32	3,26	3,23
20	5,09	4,53	4,28	4,05	3,94	3,88	3,84
30	5,58	4,96	4,69	4,43	4,31	4,24	4,20

Як видно з табл.1 і рис.2, коефіцієнт K_s значно зростає у перші 5 років експлуатації трубопроводів діаметром від 50 до 300 мм.

За формулами (6) і (7) обчислено значення питомих гідравлічних опорів сталевих труб без внутрішнього захисного покриття в різні строки і при середніх умовах їх експлуатації, які наведено в табл. 2.

У третій колонці табл.2 приведено значення питомих гідравлічних опорів ненових сталевих труб [12]. У практиці водопостачання неновими називаються труби, які були в експлуатації не менше двох років [16].

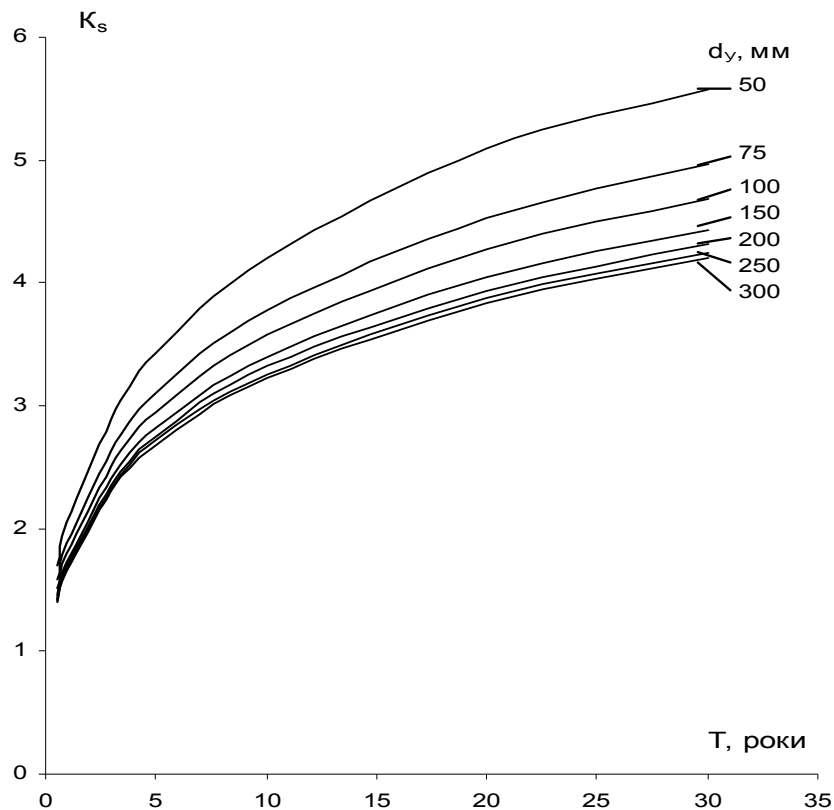


Рис.2. Графіки залежності $K_s = f(T; d_y)$ для незахищених металевих трубопроводів при середніх умовах їх експлуатації

Таблиця 2

Питомі гідравлічні опори незахищених сталевих трубопроводів в різні строки їх експлуатації

d_y , мм	d_p , м	А для ненових труб, c^2/m^6	$A_t, c^2/m^6$, при строках експлуатації T , роки							
			0	0,5	1	3	5	10	20	30
50	0,065	3686,0	2026,9	3445,8	4155,2	5857,9	6932,2	8513,2	10317,2	11310,4
75	0,84	929,4	548,1	866,0	1030,4	1441,5	1699,1	2071,8	2482,9	2718,6
100	0,115	172,9	110,4	166,7	198,7	277,1	325,7	395,2	472,5	517,8
150	0,159	30,65	28,5	41,6	49,3	68,4	80,1	96,9	115,4	126,3
200	0,210	6,96	5,1	7,3	8,7	12,0	14,0	16,9	20,1	22,0
250	0,261	2,19	1,01	1,4	1,7	2,3	2,7	3,3	3,9	4,3
300	0,311	0,85	0,83	1,2	1,4	1,9	2,2	2,7	3,2	3,5

Аналіз табл. 2 показує, що питомі гідравлічні опори незахищених сталевих труб, які залежать від їх діаметрів і строків експлуатації змінюються в широких межах і можуть для одного і того ж діаметра відрізнятись в 5 і більше разів. Це потрібно враховувати при розрахунках СПРВ на перспективу.

Знаючи діаметр d_p , довжину L і строк експлуатації T трубопроводу, по табл. 2 приймають відповідне значення питомого гідравлічного опору A_t , визначають гідравлічний опір водоводу:

$$S_{B,t} = A_t L \quad (9)$$

та за формулою (3) обчислюють розрахункову витрату води із свердловини $Q_{H,t}$, якщо відомі на цей момент часу характеристики всіх інших гідравлічно взаємодіючих споруд, що входять у дану формулу.

Для стабілізації гідравлічного опору сталевих трубопроводів слід передбачати покриття їх внутрішньої поверхні корозійностійкими матеріалами, що допускаються санітарними органами для контакту з питною водою, або замість сталевих труб застосовувати пластмасові.

При реконструкції діючих СПРВ фактичне значення $S_{B,t}$ слід визначати за формулою

$$S_{B,t} = h_t / Q^2, \quad (10)$$

де h_t – втрати напору в трубопроводі після T років його експлуатації при пропуску по ньому води витратою Q .

Втрати напору визначаються як різниця п'езометричних відміток на початку і в кінці даного (k -ого) трубопроводу:

$$h_k = \Pi_k - \Pi_{k+1}. \quad (11)$$

Висновки

1. При експлуатації водозабірних свердловин відбувається зменшення подачі води з них, що спричиняється зменшенням запасів підземних вод, кольматацією фільтрів свердловин, спрацюванням деталей заглибного відцентрового насоса та збільшенням гідравлічного опору сталевих труб внаслідок їх корозії. Вплив цих факторів слід враховувати при прогнозуванні змін подачі води із свердловини, використовуючи графічний (рис. 1) або аналітичний (за формулою 3) методи.

2. Питомі гідравлічні опори незахищених сталевих трубопроводів різних діаметрів, у різні строки і при середніх умовах їх експлуатації доцільно визначати за табл.2, аналіз якої показав, що для однакового діаметра при різних строках експлуатації трубопроводу ці величини можуть відрізнятись у 5 і більше разів.

3. Для зменшення кількості факторів, що впливають на зниження подачі води із свердловин, слід застосовувати захист внутрішньої поверхні сталевих труб від корозії або замість сталевих використовувати пластмасові труби.

Список літератури

1. *Хомутецька Т.П.* Дослідження впливу різних факторів на подачу води із свердловин в напірних водоносних пластах // Водне господарство України. – 2011. – №1. – С.32–35.

2. *Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534с.

3. *Прокопчук І.Т.* Ефективні методи експлуатації артезіанських свердловин // Автореф. ди. докт. техн. наук: 05.23.04. – К.: КНУБА, 2000. – 32с.

4. *Прокопчук І.Т., Береговий Ю.О.* Зміна гідравлічних і енергетичних характеристик насосів ЕЦВ і трубопроводів в процесі експлуатації свердловин // Наук.-техн. зб. "Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки". – К.: КНУБА, Вип.2. 2003. – С.21–25.

5. *Прокопчук І.Т., Тугай Я.А.* Оптимізація роботи артезіанських свердловин. – К.: ВАТ "ВНІПІТРАНСГАЗ". – 1998. – 82с.

6. *Тугай Я.А.* Підвищення ефективності роботи артезіанських свердловин шляхом своєчасної заміни зношеного насосного обладнання: дисерт. канд. техн. наук / КНУБА. – Київ, 1999. – 147с.

7. *Хомутецька Т.П.* Оптимізація сумісної роботи споруд в системах з водозабірними свердловинами // Водне господарство України. – 2010. – №3. – С.48–52.

8. *Тугай А.М.* Методика розрахунку фільтраційних опорів свердловин // Водне господарство України. – 2001. – № 3-4. – С.27–31.

9. *Тугай А.М.* Наукове обґрунтування продуктивності водозабірних свердловин систем водопостачання: автореф. дис. докт. техн. наук / УДУВГП. – Рівне, 2002. – 32с.

10. *Хоружий П.Д., Ткачук А.А.* Определение коэффициента гидравлических сопротивлений макрошероховатых труб // Респ. міжвід. наук.-техн. зб. «Гидравлика и гидротехника». – Вип. 40. – 1985. – С.27–31.

11. *Ткачук А.А.* Совершенствование методов расчета реконструируемых водопроводных сетей с учетом изменения их гидравлических сопротивлений. – Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Ровно, УИИВХ – 1985. – 206с.

12. *Хоружий П.Д., Ткачук О.А.* Водопровідні системи і споруди: Навч. посібник. – К.: Вища шк., 1993 – 262с.

13. *Петросов В.А.* Изменение величины коэффициента гидравлического трения в магистральных водоводах с течением времени их эксплуатации // Сб. докл. Междунар. конгресса "Экология, технология, экономика водоснабжения и канализации". – Ялта, 1997. – С.124–131.

14. *Ткачук О.А., Шадура В.О.* Водопровідні мережі: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2004. – 117с.

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

16. *Сомов М.А.* Водопроводные системы и сооружения: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1988. – 399 с.