

УДК 628.11

В.Г.НОВОХАТНІЙ, д-р техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ВОДОЗАБІРНОГО КОМПЛЕКСУ З ПІДЗЕМНИХ ДЖЕРЕЛ

Запропоновано метод розрахунку безвідмовності і ремонтпридатності водозабір-ного комплексу з підземних джерел.

Предложен метод расчета безотказности и ремонтпригодности водозаборного комплекса из подземных источников.

The method of calculation of reliability and maintainability of the water intake of the complex of underground sources.

Ключові слова: підземне джерело, водозабір, надійність.

Водозабірні свердловини є найбільш поширеними водопровідни-ми спорудами для забирання підземних вод. Кількість свердловин на водозаборі залежить від потужності водоносного горизонту, необхід-ної продуктивності та категорії за надійністю водозабірною комплек-су. В нормативних документах [1] надійність водозабірною комплексу вирішується шляхом структурного резервування, тобто окрім робочих передбачається влаштування і резервних свердловин. При цьому ні-яких інших кількісних показників надійності не вводиться.

Науковці з водопостачання розглядали питання надійності водо-забірних комплексів з підземних джерел, але результати цих дослі-джень не увійшли в інженерну практику зважаючи або на складність запропонованих формул [2,3], або на спрощеність технологічних схем [4,5].

Свердловина є елементом водозабірною комплексу і вона вклю-чає фільтр, обсадну трубу, насосний агрегат, водопідіймальну трубу, блок управління, засувку та зворотний клапан (рис. 1). Вихід з ладу кожного з цих елементів призводить до виходу з ладу (зупинки) сверд-ловини у цілому. Тому, з точки зору надійності, вказані елементи по-єднані послідовно, а математичною моделлю надійності свердловини можна прийняти ланцюг її послідовно поєднаних елементів.

Безвідмовність свердловини визначається *параметром потоку відмов*, який обчислюємо як для послідовно поєднаних відновлюваних елементів

$$\omega = \omega_{\phi} + \omega_{o.m} + \omega_{n.a} + \omega_{v.m} + \omega_{b.y} + \omega_z + \omega_k, 1/\text{год}, \quad (1)$$

де ω_{ϕ} , $\omega_{o.m}$, $\omega_{n.a}$, $\omega_{v.m}$, $\omega_{b.y}$, ω_z , ω_k – параметр потоку відмов фільтра, обсадної труби, насосного агрегата, водопідіймальної труби, блока

управління, засувки, зворотного клапана, 1/год (взяті дані Ю.О. Ільїна [2], які наведені на рис. 1).

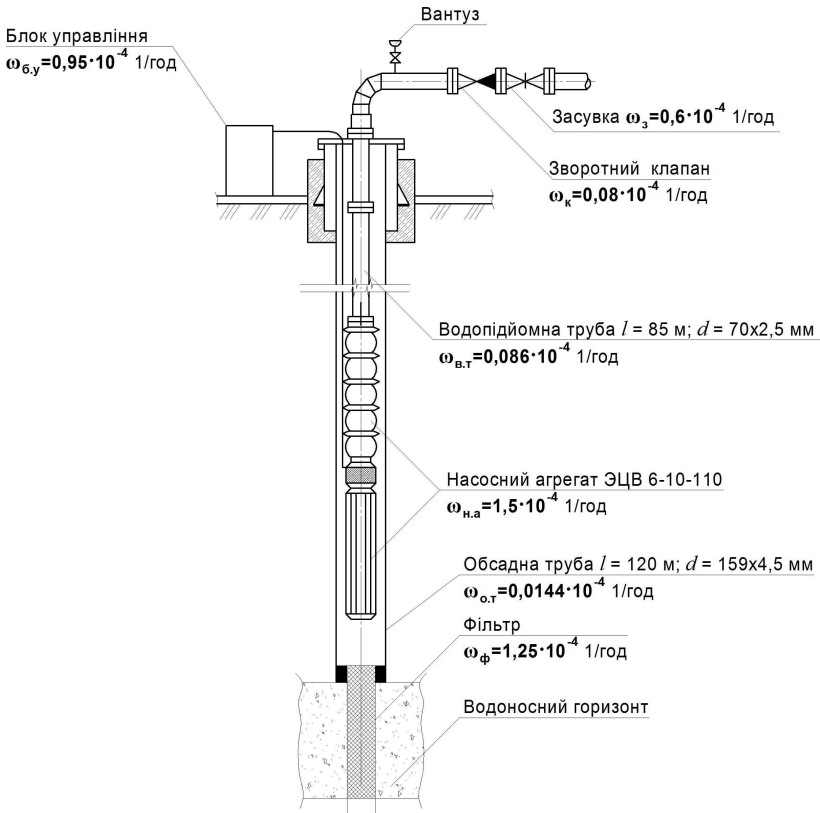


Рис. 1 – Схема водозабірної свердловини з показниками безвідмовності – параметрами потоку відмов окремих елементів

Параметр потоку відмов обсадної труби обчислюємо як добуток питомого параметру потоку відмов на її довжину за наступною формулою:

$$\omega_{о.т.} = \omega_0 l_{о.т.} = 0,12 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{120}{1000} = 0,00000144 = 0,0144 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год,}$$

де $l_{о.т.} = 120$ м – довжина обсадної труби; $\omega_0 = 0,12 \cdot 10^{-4}$ 1/год·км – питомий параметр потоку відмов обсадної труби [2].

Параметр потоку відмов водопідіймальної труби

$$\omega_{в.т.} = \omega_0 l_{в.т.} = 1,02 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{85}{1000} = 0,0000086 = 0,086 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.},$$

де $l_{в.т.} = 85 \text{ м}$ – довжина водопідіймальної труби; $\omega_0 = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год} \cdot \text{км}$ – питомий параметр потоку відмов труби [2].

Параметр потоку відмов водозабірної свердловини

$$\omega = (1,25 + 0,0144 + 1,5 + 0,086 + 0,95 + 0,6 + 0,08) \cdot 10^{-4} \approx 4,48 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Середнє напруження на відмову свердловини складає

$$T = \frac{1}{\omega} = \frac{1}{4,48 \cdot 10^{-4}} = 2232 \text{ год} \approx 3,1 \text{ місяці.}$$

Середній час відновлення працездатності свердловини приймемо, за даними експлуатації, одну зміну, тобто $T_B = 8 \text{ год}$.

Розглянемо підземний водозбір, який складатиметься з двох робочих свердловин, з яких одна працює постійно протягом доби, а інша підключається паралельно у години ранкового з 7 до 10 годин та вечірнього з 15 до 19 годин максимумів водоспоживання (рис. 2).

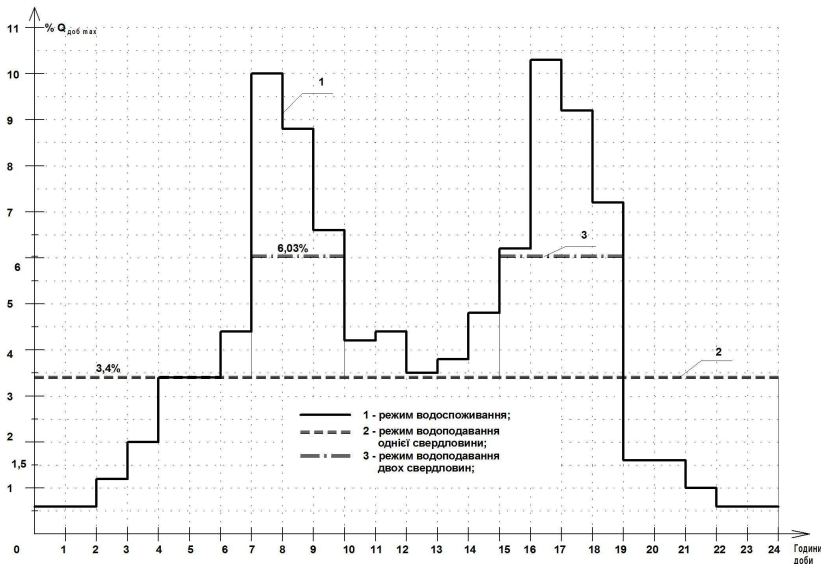


Рис. 2 – Режим роботи свердловин водозабірної комплексу протягом доби

Непрацездатним станом водозабору приймемо стан, коли буде припинене подавання води у водопровідну мережу. Тоді працездатним станом водозабору буде стан, коли працює одна свердловина у години з 19 до 7 годин та з 10 до 15 годин (перший період) і коли працює дві

свердловини паралельно у години з 7 до 10 годин та з 15 до 19 годин (другий період). З точки зору надійності, у перший період часу процес функціонування водозабору відповідає ситуації, коли одна свердловина робоча, а інша резервна і працюють вони по чергово та рівномірно протягом доби. У другому періоді часу свердловини повинні працювати дві одночасно, а тому, з точки зору надійності, їх потрібно розглядати послідовно поєднаними – адже потрібно, щоб працювали і свердловина № 1, і свердловина № 2.

Розрахунок надійності водозабору для першого періоду виконаємо методом вкладів [6]. Обчислимо вклади свердловин v_i у параметр потоку відмов водозабору $\omega_{\text{вз}}^I$. Зважаючи на те, що свердловини однакові, обчислимо вклад v_1 свердловини № 1 у параметр потоку відмов водозабору

$$v_1 = \omega_1 K_{\Pi_2}, \quad (2)$$

де ω_1 – параметр потоку відмов свердловини №1 ($\omega_1 = 4,48 \cdot 10^{-4}$ 1/год); $K_{\Pi_2} = \omega_2 T_{B_2}$ – коефіцієнт простою свердловини № 2, який визначає ймовірність того, що свердловина № 2 знаходиться в ремонті; T_{B_2} – середній час відновлення працездатності свердловини № 2 ($T_{B_2} = 8$ год).

$$K_{\Pi_2} = \omega_2 T_{B_2} = 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 8 = 35,8 \cdot 10^{-4} = 0,00358.$$

Вклад v_1 свердловини №1 у параметр потоку відмов водозабору

$$v_1 = 4,48 \cdot 10^{-4} \cdot 35,8 \cdot 10^{-4} = 160,4 \cdot 10^{-8} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ 1/год.}$$

Аналогічно, вклад v_2 свердловини № 2 у параметр потоку відмов водозабору $v_2 = 1,6 \cdot 10^{-6}$ 1/год. Тоді параметр потоку відмов водозабору для першого періоду часу дорівнює

$$\omega_{\text{вз}}^I = v_1 + v_2. \quad (3)$$

Зважаючи на те, що цей період триває 17 годин на добу

$$\omega_{\text{вз}}^I = \frac{17}{24} (v_1 + v_2) = \frac{17}{24} 3,2 \cdot 10^{-6} = 2,27 \cdot 10^{-6}, \text{ 1/год.}$$

З точки зору надійності, у другому періоді часу свердловини поєднані послідовно і параметр потоку відмов водозабору складає

$$\omega_{\text{вз}}^{II} = \omega_1 + \omega_2. \quad (4)$$

З урахуванням того, що цей період триває 7 годин на добу

$$\omega_{\text{вз}}^{II} = \frac{7}{24} (\omega_1 + \omega_2) = \frac{7}{24} (4,48 + 4,48) \cdot 10^{-4} = 2,61 \cdot 10^{-4}, \text{ 1/год,}$$

де ω_1, ω_2 – параметр потоку відмов свердловини № 1 та № 2.

Тоді параметр потоку відмов водозабору у цілому обчислюємо як суму

$$\omega_{\text{вз}} = \omega_{\text{вз}}^I + \omega_{\text{вз}}^{\text{II}} = \frac{17}{24}(v_1 + v_2) + \frac{7}{24}(\omega_1 + \omega_2).$$
$$\omega_{\text{вз}} = 2,27 \cdot 10^{-6} + 2,61 \cdot 10^{-4} = 2,6327 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Середнє напрацювання на відмову водозабору

$$T = \frac{1}{\omega_{\text{вз}}} = \frac{1}{2,6327 \cdot 10^{-4}} = 3798 \text{ год} \approx 5,3 \text{ місяців.}$$

Отже, якщо одна свердловина буде відмовляти у середньому 1 раз на 3 місяці, то водозабірний комплекс буде відмовляти у середньому вже 1 раз на 5 місяців за рахунок того, що одна свердловина 17 годин на добу знаходиться у резерві. Середній час відновлення працездатності водозабору, у даному випадку, дорівнює середньому часу відновлення працездатності свердловини $T_B = 8$ год. Тоді коефіцієнт готовності водозабору становить

$$K_T = \frac{T}{T + T_B} = \frac{3798}{3798 + 8} = 0,9979.$$

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения: СНиП 2.04.02-84. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.

2. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1985. – 240 с.

3. Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды / Ю.А. Ильин. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.

4. Мякишев В.А. Совершенствования технологии подготовки питьевой воды и внедрение СанПиНа / В.А. Мякишев. – Симферополь: Крымская академия природоохранного и курортного строительства, 2003. – 203 с.

5. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / Под ред. В.Д. Дмитриева, Б.Г. Мишукова. – Л.: Стройиздат, 1988. – 383 с.

6. Новохатний В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: автореф. дис. ... на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація / В.Г. Новохатній. – К.: КНУБА, 2012. – 32 с.

Отримано 09.08.2013