

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ВУЗЛА «СВЕРДЛОВИНА-АЕРАЦІЯ-ГІДРОАКУМУЛЯТОР» ПРИ ЗНЕЗАЛІЗНЕННІ ВОДИ НА НАПІРНОМУ ФІЛЬТРІ

Мартинов С. Ю., Орлов В. О., Корнійчук К. С.
Національний університет водного господарства та природокористування,
м. Рівне

Запропоновано математичну модель роботи вузла «свердловина – аерація – гідроаккумулятор» при знезалізненні води на напірному фільтрі в котеджних системах водопостачання.

Ключові слова: підземні води, знезалізнення, математична модель, напірний фільтр, рециркуляція.

Предложена математическая модель работы узла «скважина – аэрация – гидроаккумулятор» при обезжелезивании воды на напорном фильтре в коттеджных системах водоснабжения.

Ключевые слова: подземные воды, обезжелезивания, математическая модель, напорный фильтр, рециркуляция.

A mathematical model of the node «well – aeration – hydraulic accumulator» with iron removal on the pressure filter in the cottage water system is proposed.

Keywords: ground water, iron removal, mathematical model, pressure filter, recirculation.

Значна частина підземних вод України має підвищену ГДК по залізу і їх потрібно знезалізнювати [1, 2].

При знезалізненні води аерацією можуть використовуватися безнапірні та напірні фільтри. При використанні безнапірних фільтрів достатньо просто здійснити аерацію води. Проте, додатково потрібно влаштувати бак очищеної води та підвищувальний насос, що значно збільшує вартість котеджної системи водопостачання.

При використанні напірних схем знезалізнення ускладнюється влаштування аерації води. В таких схемах аерацію води можна здійснювати шляхом насичення частини води киснем повітря з подальшим її перемішуванням з основною масою води в свердловині (рис. 1) [3].

Витрата води в рециркуляційному трубопроводі залежатиме від ефективності роботи аератора, концентрації закисного заліза та інших речовин, здатних поглинати кисень.

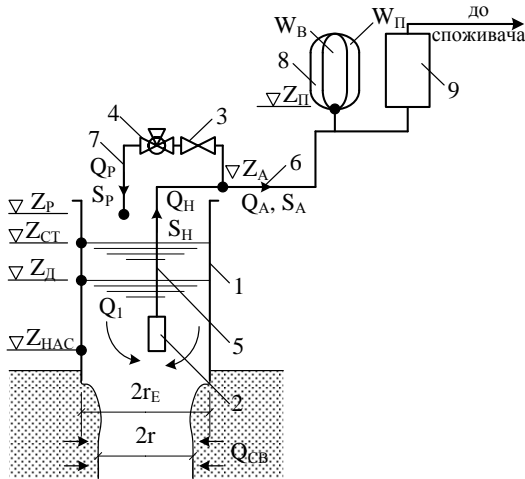


Рис. 1 Розрахункова схема

1 – експлуатаційна колона; 2 – занурений насос; 3 – регулюючий вентиль; 4 – аератор; 5 – трубопровід подавання підземної води; 6 – трубопровід аерованої води; 7 – рециркуляційний трубопровід; 8 – гідроакумулятор; 9 – незалізнювальний фільтр.

Математична модель роботи свердловини (трубчатого колодезя) при незалізненні води з аерацією на рециклі наступна.

Притік води до одиночної досконалої свердловини, м³/год.

$$Q_{CB} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot m \cdot S}{\ln(R/r)}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт фільтрації породи, що складає водоносний пласт, м/год.;

m – потужність водоносного пласта, м;

S – величина пониження статичного рівня, м;

r – радіус свердловини (водоприймальної частини), м;

R – радіус впливу свердловини, м.

Зміна динамічного рівня води в свердловині з часом, м/год.

$$dz_d/dt = (Q_{CB} - Q_H + Q_P)/(\pi \cdot r_E^2), \quad (2)$$

де r_E – радіус експлуатаційної колони свердловини, м;

Q_{CB} – витрати води, що надходять у свердловини з водоносного пласта, м³/год.;

Q_H – продуктивність зануреного насоса при заданому напорі, м³/год.;

Q_P – витрати води, що надходять у свердловину з рециркуляційної труби, м³/год.

Напір насоса (аналітична характеристика насоса), м

$$H_{НАС} = H_{\Phi} - S_{\Phi} \cdot Q_H^2, \quad (3)$$

де H_{Φ} – фіктивний напір насоса, м;

S_{Φ} – фіктивний опір насоса, год.²/м⁵.

Втрати напору у трубопроводі, м, складаються з втрат по довжині та в місцевих опорах і можуть бути визначені за формулою

$$h_{ТР} = S_{\Pi} \cdot Q^2, \quad (4)$$

де S_{Π} – повний опір трубопроводу, год.²/м⁵.

З балансу витрат води насосом можна записати

$$Q_H = Q_A + Q_P. \quad (5)$$

Витрата води, м³/год., що надходить з об'єму води свердловини (верхньої частини)

$$Q_1 = Q_H - Q_{CB}. \quad (6)$$

Швидкість руху води у верхній частині свердловини, м/год.

$$V_1 = Q_1/(\pi \cdot r_E^2). \quad (7)$$

Коефіцієнт рециркуляції

$$\alpha = Q_A/Q_H. \quad (8)$$

Враховуючи, що

$$H_{НАС} = H_H + H_A, \quad (9)$$

можна записати

$$H_{\Phi} - S_{\Phi} \cdot Q_{\text{H}}^2 = Z_{\text{A}} - Z_{\text{Д}} + S_{\text{H}} \cdot Q_{\text{H}}^2 + Z_{\text{П}} - Z_{\text{A}} + S_{\text{A}} \cdot Q_{\text{A}}^2. \quad (10)$$

де $Z_{\text{П}}$, Z_{A} , $Z_{\text{Д}}$ – відмітки у відповідних точках (див. рис. 1), м;

S_{H} , S_{A} – повні опори трубопроводів артезіанської та аерованої вод, год.²/м⁵.

З формул (8) та (10) маємо

$$Q_{\text{H}} = \sqrt{\frac{H_{\Phi} - Z_{\text{П}} + Z_{\text{Д}}}{S_{\text{H}} + S_{\Phi} + \alpha^2 \cdot S_{\text{A}}}}. \quad (11)$$

Прийнявши постійну концентрацію кисню у воді, яка надходить у свердловину з рециркуляційної труби та відсутність кисню у воді, що надходить у свердловину з водоносного пласта, концентрація кисню у воді, що забирається зануреним насосом, мг/дм³

$$[O_2]_{\text{H}} = Q_1 \cdot [O_2]_{\text{P}} / Q_{\text{H}}, \quad (12)$$

де $[O_2]_{\text{P}}$ – концентрація розчиненого кисню у рециркуляційному трубопроводі (після аератора), мг/дм³.

При зміні об'єму повітря в гідроакумуляторі з $W_{\text{П1}}$ до $W_{\text{П2}}$ тиск змінюється з $Z_{\text{П1}}$ на $Z_{\text{П2}}$, м

$$Z_{\text{П2}} = Z_{\text{П1}} \cdot W_{\text{П1}} / W_{\text{П2}}, \quad (13)$$

Корисна місткість гідроакумулятора, м³

$$W_{\text{A}} = W_{\text{П}} + W_{\text{B}}, \quad (14)$$

де $W_{\text{П}}$ – об'єм повітря в гідроакумуляторі, м³;

W_{B} – об'єм води в гідроакумуляторі, м³.

Зміна об'єму води в гідроакумуляторі за елементарний час dt , м³

$$dW_{\text{B}} = (Q_{\text{A}} - Q_{\text{K}}) \cdot dt \quad (15)$$

де Q_{K} – витрата з санітарно-технічних приладів, м³/год.

Коефіцієнт α визначається ітераційним методом за умов однакових втраг напору в трубопроводі, що подає воду з свердловини в гідроакумулятор, трубопроводі, що подає воду з свердловини на рецикл, та напору насоса, тобто

$$H_{\text{НАС}} = H_{\text{H}} + H_{\text{A}} = H_{\text{H}} + H_{\text{P}}, \quad (16)$$

Розглянемо роботу вузла «свердловина-аерація-гідроакумулятор» при наступних умовах, які взяті з діючої свердловини та встановленим напірним фільтром. Свердловина має глибину 31 м. Від устя

свердловини до глибини 26,2 м виконана обсадка трубою Ø152 мм, далі – діаметр свердловини 98 мм без обсадки. Водоносний горизонт представлений вивіреною крейдою з піском на глибині 26,2...30 м. Статичний рівень води – 11 м, концентрація заліза у воді – 2 мг/дм³. Система водопостачання обладнана гідроакумулятором, місткістю 100 л. В свердловині на глибині 24 м встановлений насос Pedrollo 4SR2m/10, який вмикається при тиску 14 м, а вимикається – 24 м.

На рис. 2 наведено графіки зміни витрат з часом при роботі зануреного насосу.

Тривалість роботи насосу без водовідбору для досягнення максимального тиску становить 43 с, при цьому його продуктивність знижується з 3,17 м³/год. до 2,71 м³/год. Динамічна рівновага рівня води в свердловині не досягається. Максимальний приток води в свердловину з водоносного пласта становить 0,93 м³/год. Швидкість руху води, насиченої повітрям, зменшується з 0,049 м/с до 0,027 м/с, що відповідає умовам роботи повітревідільників. Тому, негативного впливу на роботу зануреного насосу не буде.

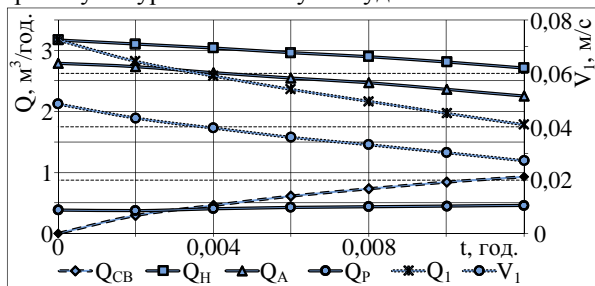


Рис. 2 Зміна витрат води та швидкості руху води у верхній частині свердловини з часом

Витрата води в рециркуляційній трубі зростає з 0,38 м³/год. до 0,46 м³/год., що пов'язано зі збільшенням геодезичної висоти підняття води в гідроакумулятор. Тому, зменшується коефіцієнт рециркуляції з 0,88 до 0,83, збільшується кількість повітря, яка подається в свердловину (рис. 3). Зростає концентрація кисню в аераційній трубі з 1,2 мг/дм² до 1,7 мг/дм². При цьому, середня концентрація кисню у воді, що надходить на напірний фільтр становить 1,4 мг/дм³. Практично дану величину регулюють ступенем відкриття вентиля на рециркуляційному трубопроводі, що змінює величину повного опору даного трубопроводу.

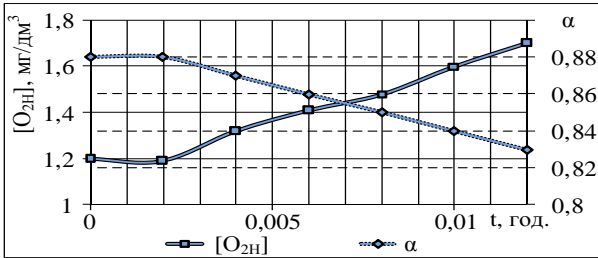


Рис. 3 Зміни коефіцієнта рециркуляції та концентрації кисню в аераційній трубі з часом.

Напори на всіх ділянках трубопроводів та насосу зростають, що пов'язано зі збільшенням геодезичної висоти підняття води та збільшенням витрати води в рециркуляційній трубі, що відповідає реальним умовам роботи.

Час доходження аерованої води зверху свердловини до зануреного насоса залежить від висоти розміщення кінця рециркуляційної труби (рис. 4).

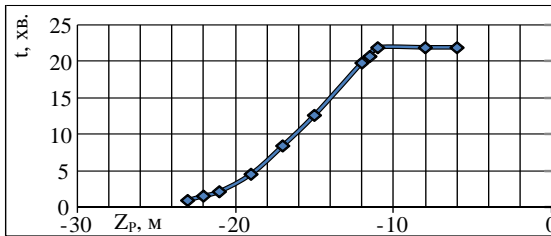


Рис. 4 Залежність часу доходження аерованої води зверху свердловини до зануреного насоса від відмітки висоти розміщення кінця рециркуляційної труби

Час доходження води змінюється від 1 хв. до 22 хв. при розміщенні кінця рециркуляційної труби на відстані від 1 м до 13 м від насоса. Відповідно, впродовж цього часу в фільтр може надходити вода з недостатньою кількістю кисню.

Висновок

Отже, запропонована математична модель дозволяє досліджувати роботу вузла «свердловина – аерація – гідроакумулятор» при знезалізненні води на напірному фільтрі в котеджних системах водопостачання. Дана модель дозволяє в динаміці визначати коефіцієнт рециркуляції, витрати води в кожному з трубопроводів, зміну рівня води в свердловині, концентрацію кисню у воді, яка подається на знезалізнення тощо. В подальшому буде проаналізовано

роботу системи з відбором води із санітарно-технічних приладів.

1. Орлов В. Контактное обезжелезивание вод на пенополистирольных фильтрах. Монография / В. Орлов, С. Мартинов. – Saarbrücken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. – 126 с.

2. Очищення природної води на пінополістирольних фільтрах / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов ін.; під ред. В. О. Орлова. Монографія. – Рівне : НУВГП, 2012. – 172 с.

3. Пат. на корисну модель 91986 Україна, МПК В 01 D 24/00, С 02 F 1/64. Напірна установка для знезалізнення підземних вод / В. О. Орлов, С. Ю. Мартинов, К. С. Корнійчук : заявник та патентовласник Національний університет водного господарства та природокористування. – № и 2014 01556 ; заявл. 17.02.14 ; опубл. 25.07.14. Бюл. № 14.