

## Стохастична модель і метод оптимізації режимів роботи групи артезіанських свердловин в системах водопостачання

Андрій Тевяшев<sup>1</sup>, Ольга Матвієнко<sup>2</sup>, Гліб Нікітенко<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Харківський національний університет радіоелектроніки  
пр. Науки 14, Харків, Україна, 61166

<sup>3</sup>Департамент інформаційних технологій Комунальне підприємство «Харківводоканал»  
вул. Шевченка, 2, Харків, Україна, 61013

<sup>1</sup>[tad45ua@gmail.com](mailto:tad45ua@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2846-7089>

<sup>2</sup>[olga\\_mat@ukr.net](mailto:olga_mat@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-7492-7616>

<sup>3</sup>[gvnikitenko@gmail.com](mailto:gvnikitenko@gmail.com)

Отримано 14.04.2021, прийнято 19.05.2021

<https://doi.org/10.32347/tit2141.0308>

### ВСТУП

Водопостачання великих міст здійснюється, як правило, з відкритих водойм - озер, водосховищ, великих річок, тобто з джерел, що мають значні запаси води. У цьому випадку схема водопостачання включає: насосні станції першого підйому, які забирають воду безпосередньо з водойми; систему водопідготовки (очищення); насосні станції другого і третього підйому, що здійснюють перекачування чистої води на значні відстані і подають її в населені пункти [1].

Якщо населений пункт знаходиться в місцевості, де немає великих відкритих джерел води, або географічне положення населеного пункту дозволяє використовувати підземні води, в такому випадку як джерело водопостачання використовуються артезіанські свердловини. Зазвичай з артезіанських свердловин забезпечуються водою невеликі населені пункти. Артезіанські свердловини широко використовуються для водопостачання сіл, промислового водопостачання, для іригації (систем поливу), в гірській промисловості, для зниження рівня ґрунтових вод. Перевагою використання артезіанських свердловин для постачання населення питною водою є те, що вода видобувається з великих глибин і очищається за допомогою природних фільтрів [2]. Таким чином витрати на водопідготовку істотно знижуються. Недоліком використання артезіанських свердловин є зазвичай неви-

сока продуктивність свердловини, сильна залежність обсягів води в свердловині від кліматичних і погодних умов, виснаженість свердловини в результаті великих будівництв або видобутку природних копалин, наприклад сланцевого газу [3].

### МЕТА І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

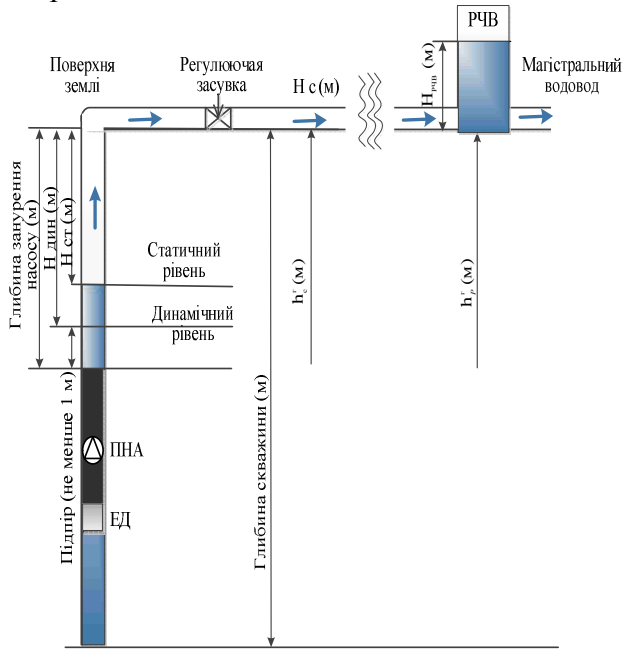
Дана робота присвячена розробці стохастичної моделі та методу оптимізації режимів роботи групи артезіанських свердловин.

### ВОДОЗАБІРНІ СВЕРДЛОВИНИ

Окремі водозабірні свердловини широко використовуються в індивідуальних господарствах. Для забезпечення водою населених пунктів продуктивність окремих свердловин стає недостатньою, тому в системах водопостачання використовують групи (кущі) просторово розподілених свердловин, об'єднаних між собою ділянками трубопроводів (загальним колектором), що подає воду в резервуар чистої води (РЧВ). Група свердловин спільно з РЧВ називається водозабірним вузлом (ВЗВ) системи водопостачання (СВ). Далі з РЧВ насосними станціями (НС) другого підйому вода подається споживачам в населені пункти. Режим роботи насосного агрегату (НА), тобто положення робочої точки в кожен момент часу в кожній свердловині залежить від фактичних значень багатьох внутрішніх і

зовнішніх факторів: динамічного рівня води в свердловині; фактичних характеристик НА; положення регулюючих органів (оборотів приводу, ступеня відкриття регулюючої засувки); гідравлічних опорів ділянок трубопроводів ВЗВ; рівня води в РЧВ; кількості і режимів роботи НА в інших свердловинах ВЗВ [4].

На Рис. 1 показано схему водозабірної свердловини.



**Рис. 1.** Схема установки ПНА у водозабірну свердловину

Тут позначено: РЧВ – резервуар чистої води, ПНА – погрузний насосний агрегат, ЦН – відцентровий насос, ПЕД – погрузний електричний двигун;  $l_{ПНА}$  – довжина ПНА, РЗ – регулююча засувка; геодезичні позначки, відповідно: гирла (поверхні землі) водозабірної свердловини –  $h_c^r$ ; ЦН –  $h_{ЦН}^r$ ; РЧВ –  $h_p^r$ ; глибини свердловини –  $h_{скв}$ ; глибина занурення (монтажу) ПНА –  $h_{ПНА}$ ; напори: на виході (гирло) водозабірної свердловини –  $H_c$ ; напір, що розвивається ЦН –  $H_{ЦН}$ ; рівні води: в РЧВ –  $H_{РЧВ}$ ; статичний рівень в свердловині (при нульовому відборі води) –  $H_{ст}$ ; динамічний рівень в свердловині (при номінальному відборі води) –  $H_{дин}$ ; рівень підпору ЦН –  $H_{ЦН}^п$ .

## ДЕТЕРМІНОВАНА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВОДОЗАБІРНОЇ СВЕРДЛОВИНИ

При побудові детермінованої математичної моделі водозабірної свердловини передбачається, що всі параметри водозабірної свердловини апріорно відомі. Це дозволяє визначити модель роботи водозабірної свердловини у вигляді взаємозалежної системи алгебраїчних рівнянь виду:

– Геодезична відмітка ЦН:

$$h_{ЦН}^r = h_c^r - h_{ПНА}^r - 0,5l_{ПНА}. \quad (1)$$

– Величина підпору ЦН:

$$H_{ЦН}^п = h_{ЦН}^r - H_{дин}. \quad (2)$$

– Напір, створюваний ЦН:

$$H_{ЦН}(Q) = a_0 + a_1Q + a_2Q^2. \quad (3)$$

– Витрати потужності ЦН:

$$N_{ЦН}(Q) = c_0 + c_1Q + c_2Q^2. \quad (4)$$

– Коефіцієнт корисної дії ЦН:

$$\eta_{ЦН}(Q) = d_0 + d_1Q + d_2Q^2. \quad (5)$$

де  $Q$  – витрати води через ЦН,  $a_0, a_1, a_2, c_0, c_1, c_2, d_0, d_1, d_2$  – чисельні значення параметрів ЦН. Втрата напору  $H$  на ділянці трубопроводу  $H = H(Q)$  визначається виразом

$$H(Q) = \text{sgn}(Q) \cdot \phi \cdot |Q|^\chi, \quad (6)$$

де  $Q$  – витрати води по ділянці трубопроводу [ $\text{м}^3 / \text{с}$ ];  $\text{sgn}(Q)$  – знак  $Q$ ;  $\phi > 0$  – гідравлічний опір ділянки трубопроводу;  $\chi > 1$  – коефіцієнт нелінійності.

Витрата напору  $H$  на РЗ має вигляд:

$$H_3 = \frac{C}{E_3^2} \operatorname{sgn}(Q) \cdot |Q|, \quad (7)$$

де  $C$  – еквівалентний гідравлічний опір РЗ в положенні «відкрито»;  $E_3 (0,1]$  – ступінь відкриття РЗ, причому 1 в положенні «відкрито»; 0 в положенні «закрито».

Якщо відомо значення витрати води через ЦН, то значення напору на виході (гірлі) свердловини визначається виразом

$$H_c = H_{цн}^n + H_{цн} - H - H_3. \quad (8)$$

Також мають місце співвідношення:

$$H_{цн}^n \geq 1 м, \quad (9)$$

$$H_{cm} \leq H_{dnn} \leq h_{пна}. \quad (10)$$

При математичному моделюванні і оптимізації режимів роботи ВЗУ ми використовували стохастичну модель квазістаціонарних режимів роботи ВЗУ [5].

**Ключові слова:** артезіанська свердловина, система водопостачання, оптимізація, стохастична модель.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Замятин Н.В., Иванов Е.О. (2011). Автоматизация расчета производительности напорных артезианских скважин в среде Simulink. Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, 2(24), часть 3, 154-158.
2. Замятин Н.В., Иванов Е.О. (2015). Нечеткая советующая система контроля артезианских скважин. Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, №4(38), 178-181.
3. Маругин А.П., Садовников М.Е. (2001). Система диспетчерского контроля и управления насосами артезианских скважин. Известия Уральского государственного горного университета, 12, 101-104.
4. Полищук С.И., Кутрань И.С. (2011). Экономия электроэнергии в системах артезианского водоснабжения. Энергосберегающие технологии, 5(87), 79-82.
5. Ван Цзиньлон, Золотухин А.Б., Чжоу Цяофэн, Ибрагимов Ж.Ж., Чжан Ниншенг (2018). Оптимизация работы высокотехнологичных скважин. Neftegaz.RU, 6, 39-45.