



Шадура В. О., к.т.н., доцент (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

СТВОРЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ МОДЕЛІ ВОДОЗАБОРУ ІЗ СВЕРДЛОВИН ШЛЯХОМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ

В період експлуатації свердловинного водозабору повинні вирішуватися наступні завдання: знаходження оптимальних режимів; визначення раціонального розставляння насосного устаткування; уточнення запасів підземних вод і визначення оптимального варіанту реконструкції водозабору. Отриманні фактичні характеристики елементів водозабору використовуються для створення еквівалентної математичної моделі водозабору, що є системою лінійних рівнянь, що описують систему взаємодіючих свердловин і систему нелінійних рівнянь руху води в трубопровідних комунікаціях. За допомогою математичної моделі можуть бути проаналізовані різні варіанти зміни розрахункової схеми водозабору, параметрів водоносного комплексу і водопідіймального устаткування для визначення заходів, направлених на поліпшення експлуатації і перспективний розвиток водозабору.

Ключові слова: водозабір із свердловин, еквівалентна математична модель, ідентифікація параметрів, оптимальні режими.

Проблема водозабезпечення населення та всіх галузей економіки є однією з найважливіших сучасних задач. Для стабільного забезпечення споживачів високоякісною питною водою та зменшення її собівартості необхідно проводити реконструкцію та інтенсифікацію існуючих систем водопостачання.

В цих умовах усе більшого значення набувають питання ресурсозбереження, що для систем водопостачання означає раціональне використання питної води, зменшення її втрат, економія матеріалів та енергоресурсів. Вирішення цих питань можливе шляхом інтенсифікації роботи водопровідних споруд, підвищення їх технічної надійності та економічності.

Шляхи ресурсозбереження починаються від споруд забору води із природних водних джерел до споживачів цієї води. На цих шляхах існує велика кількість резервів для інтенсифікації роботи во-

допровідних споруд: оптимізація складу споруд та режимів їх роботи; зменшення втрат води та її раціональне використання; оптимізація сумісної роботи насосних станцій, водопровідної мережі та напірно-регулювальних споруд тощо.

Особливу увагу необхідно приділяти питанням виявлення причин незадовільної роботи всіх споруд водопостачання, оптимізації роботи кожної споруди та системи в цілому, підвищенню ефективності роботи, поліпшенню якості очищення води [1].

Свердловинний водозабір підземних вод є складною системою, що включає водоносний горизонт, технологічні споруди і устаткування із забору, підйому і подачі води споживачам, параметри роботи яких тісно зв'язані один з одним.

Основними завданнями наладки та інтенсифікації водозаборів із свердловин є застосування автоматизованої системи обробки й аналізу матеріалів обстеження [2]:

- уточнення (визначення) параметрів водоносного комплексу і водозабірних свердловин, водопідіймального устаткування і трубопроводів;
- оцінка технічного стану окремих споруд і устаткування водозабору та визначення можливості здобуття ними необхідних об'ємів води;
- визначення оптимальних типів водопідіймального устаткування і параметрів режимів експлуатації водозабору;
- прогнозна оцінка експлуатаційних запасів підземних вод з перспективами розвитку водозабору.

Обстеження і наладка водозаборів повинні проводитися як на стадії пуску водозабору, так і на водозаборах, що діють періодично, у міру зміни параметрів і режимів їх роботи, і включають виконання наступних робіт:

- збір технічної та експлуатаційної інформації;
- натурні обстеження споруд і устаткування;
- обробку й аналіз матеріалів обстеження з ідентифікацією математичної моделі водозабору;
- розробку заходів щодо інтенсифікації роботи насосних станцій і підйому і раціонального відбору підземних вод.

В результаті збору інформації уточняється схема водозабору, склад і характеристики технологічних споруд, устаткування і комунікацій. Вивчаються матеріали гідрогеологічних досліджень і режимних спостережень за водовідбором і рівнями підземних вод, паспортні дані свердловин та експлуатаційні характеристики, впродовж



усього періоду роботи.

Натурне обстеження включає зйомку параметрів роботи водозабору в режимі максимального навантаження. При цьому вимірюють тиск води в трубопроводах на оголовках свердловин і характерних точках збірних водоводів (манометрична зйомка), рівні води у водозабірних і наглядних свердловинах, споживану електроенергію свердловинних електронасосів і рівень води в резервуарах. Обробляються дослідження динаміки відновлення рівня в кожній свердловині, і нарешті за допомогою відкачування свердловини «на викид» визначаються характеристики зануреного насоса та свердловини.

Алгоритмом передбачено аналіз введеної користувачем вихідної описової інформації, згідно якої реалізується та або інша спрощена або розширена схематизація кожного із складових елементів. В процесі роботи системи вводяться дані про схему водозабору, матеріали відкачок і відновлення рівня в свердловинах, результати зйомки параметрів режиму роботи водозабору, які можуть бути скоректовані. Аналогічним чином заноситься, коректується і зберігається довідково-нормативна інформація щодо водопідіймального устаткування (каталоги насосів) і трубопроводів.

На основі вихідної інформації програмним комплексом виробляється [2]:

- визначення гідрогеологічних параметрів експлуатованого водоносного комплексу з тимчасового і площадкового дослідження відновлення рівнів в свердловинах та їх усереднювання;
- побудова фактичних характеристик свердловинних електронасосних агрегатів (тиск, продуктивність, ККД, потужність) і характеристик «дебіт-пониження» свердловин;
- визначення фактичних дебітів свердловин і робочих параметрів насосного устаткування для заданого режиму роботи водозабору;
- визначення фактичної пропускної спроможності (гідравлічних опорів) трубопровідних комунікацій;
- гідравлічний розрахунок системи збірних водоводів.

В основу побудови еквівалентної математичної моделі водозаборів із свердловин для виконання налагоджувальних робіт з інтенсифікації та реконструкції діючих водозаборів із підземних джерел запропоновано спрощену розрахункову схему водозабору, яка включає [3]:

- тип фільтрів водозабірних свердловин;
- марки встановлених насосів;
- геодезичні позначки статичного та динамічного рівня;

- діаметр, довжину, матеріал трубопроводів між свердловинами;
- геодезичні позначки споруд, куди подається вода (резервуари чистої води, водонапірна башта, фільтри).

Відмінністю розрахункової схеми діючого водозабору із свердловин від нового є те, що вона складається на основі експлуатації діючих споруд із врахуванням зміни їх параметрів в процесі роботи, що найбільш достовірно отримуються в ході натурних досліджень. Уточнення параметрів, які входять в математичну модель, викликано наступними причинами:

1. Зменшення дебітів та рівня води в діючих водозабірних свердловинах.
2. Кольматажем фільтрів та прифільтрових зон.
3. Відмінностями фактичних режимів роботи від розрахункових.

Для складання еквівалентної моделі водозабору із підземних джерел застосовують методи математичного моделювання. Застосування цих методів передбачає отримання еквівалентної моделі водозабору із застосуванням на основі її розрахункової схеми. Критерієм еквівалентності є тотожність (або достатня рівність) розрахункових та вимірних в результаті натурних досліджень тисків або витрат. Необхідною і достатньою умовою є відповідність значень гідравлічних опорів свердловин їх фактичним величинам.

Отримані фактичні характеристики елементів водозабору використовуються для створення еквівалентної математичної моделі водозабору, що є системою лінійних рівнянь, що описують систему взаємодіючих свердловин і систему нелінійних рівнянь руху води в трубопроводах. Обидві системи рівнянь зв'язуються функціями, що описують витратно-напірні характеристики водопідйомного устаткування. Ідентифікація моделі полягає в обчисленні коефіцієнтів рівнянь функції, причому незалежними для першої системи є дебіт свердловин, а для другої – п'єзометричні тиски. Спільне вирішення цих систем рівнянь з «включенням» тих або інших характеристик насосів відповідає різним режимам експлуатації водозабору. В результаті рішення однозначно визначаються залежні змінні, що є параметрами режиму роботи водозабору, положення рівнів води в свердловинах, витрати по ділянках трубопроводів, споживана потужність насосних агрегатів і так далі.

Для уточнення параметрів споруд розрахункової схеми використовується відомі в кібернетиці методи ідентифікації параметрів моделі об'єкта, що досліджується. Для водозабору із свердловин відо-



ними величинами є:

1. Схеми розміщення, відстані між свердловинами та відстані до збірного водоводу.
2. Витратно-напірні характеристики свердловин.
3. П'єзометричні позначки у вузлах розміщення свердловин або у вузлах підключення до водоводів.

Вибір п'єзометричних позначок напорів, які вимірюються в ході натурних досліджень на діючих водозаборах, обумовлений тим, що вимірювання тисків доступно, легко і точно здійснюється в натурних дослідженнях.

Для будь-якого вузла системи «свердловина – водоводи – РЧВ – мережа» відомими є п'єзометричні позначки для j -х непропорційно змінних режимів роботи, рівняння витратно-напірних характеристик ділянок та рівнянь аналогічним 1-му правилу Кірхгофа:

$$h_{ij} = S_i Q_{ij}^\beta, \quad (1)$$

$$\sum_j q_{ij} + Q_i = 0, \quad (2)$$

де h_{ij} – втрати напору на i -й ділянці для j -го режиму роботи, м; S_i – опір i -ї ділянки; q_{ij} – витрата води на i -й ділянці, для j -го режиму роботи л/с; β – показник степеню, який залежить від матеріалу труб; Q_i – вузловий відбір для j -го режиму роботи, л/с (при подачі води у вузол має знак «+», а при відборі «-»).

Для вузлів, що моделюють свердловини, справедливе рівняння вигляду:

$$H_\Phi - H_{mj} - H_{sj} = (S_\Phi + S_k) \times Q_j^2, \quad (3)$$

де H_Φ та S_Φ – параметри аналітичного виразу $Q - H$ характеристики насоса, що встановлений у свердловині; H_{mj} – тиск, який фіксується манометром на оголовку свердловини для j -го режиму роботи, м; H_{sj} – відстань від осі манометра, встановленого на оголовку свердловини, до динамічного рівня води в свердловині для j -го режиму роботи, м; S_k – опір комунікацій свердловини, м²/л²; Q_j – дебіт свердловини для j -го режиму роботи, л/с.

В свою чергу

$$H_{sj} = H_\Gamma + h_{cj}, \quad (4)$$

де H_{Γ} – відстань від осі манометра до статичного рівня, м; h_{cj} – пониження динамічного рівня для j -го режиму роботи, м, яке можна визначити за формулою

$$h_{cj} = \theta_{CB} Q_j, \quad (5)$$

де θ_{CB} – опір свердловини (враховуючи загальний опір фільтра та водоносної породи), м/л.

Враховуючи аналогію між формулами (1), (3), (5) можна зробити висновок, що формула (1) є узагальненою, а тому може бути прийнята для подальших розрахунків.

Тоді для кожного вузла буде отримано j -і рівнянь (для j -і режимів), аналогічним 1-у правилу Кірхгофа. Кількість рівнянь рівна числу режимів. Система рівнянь в загальному випадку є невизначеною. Для системи «свердловина – водоводи – РЧВ – мережа» невизначеність системи рівнянь буде зменшено. Це викликано тим, що кожна ділянка з одним невідомим входить у дві підсистеми рівнянь для вузлів початку і кінця ділянок. Система рівнянь буде визначена, якщо буде відома витрата хоча би в одному вузлі для кожного режиму роботи. При цьому кількість режимів роботи повинна перевищувати загальну кількість ділянок всієї системи. Однак рішення (близьке до істинних значень) може бути отримано, якщо число невідомих буде зменшено за рахунок ділянок мережі із відомими опорами та деякими вузлів з відомими витратами. Такими ж умовами є введення відомих раніше співвідношень вузлових витрат для різних режимів.

Для здобуття необхідного ступеня точності відповідності математичній моделі натурі потрібна наявність фактичних значень параметрів системи, експериментальне визначення яких в масовому масштабі вимагає проведення величезного об'єму робіт з обстеження водозаборів і необхідності наявності відповідних приладів і устаткування на свердловинах.

Висновки

Еквівалентна модель комплексу водозабірних споруд із підземних джерел необхідна для:

1. Аналізу режимів роботи та розробки шляхів інтенсифікації водозабірних свердловин.
2. Розробки перспективного розвитку водозабору та його реконструкції.
3. Оперативного контролю режимів роботи при експлуатації для створення автоматизованих систем управління водозаборами із свердловин.



4. Аналізу різних варіантів зміни розрахункової схеми водозабору, параметрів водоносного комплексу і водопідіймального устаткування для визначення заходів, направлених на поліпшення експлуатації і перспективний розвиток водозабору.

1. Шадура В. О. Визначення коефіцієнта збільшення опору фільтрів водозабірних свердловин. *Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2015. 198 с. 2. Гуринович А. Д. Системы питьевого водоснабжения с водозаборными скважинами: планирование, проектирование, строительство и эксплуатация : монография. Мн. : УП «Технопринт», 2004. 244 с. 3. Орлов В. О., Шадура В. О., Назаров С. М. Інтенсифікація та реконструкція систем водопостачання : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2013. 265 с.

REFERENCES:

1. Shadura V. O. Vyznachennia koefitsiienta zbilshennia oporu filtriv vodozabirnykh sverdlovyn. *Aktualni problemy system teplofazopostachannia i ventyliatsii, vodopostachannia i vodovidvedennia* : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2015. 198 s. 2. Hurinovich A. D. Sistemy pitevoho vodosnabzheniia s vodozabornymi skvazhinami: planirovanie, proektirovanie, stroitelstvo i ekspluatatsiia : monohrafiia. Mn. : UP «Tekhnoprint», 2004. 244 s. 3. Orlov V. O., Shadura V. O., Nazarov S. M. Intensyfikatsiia ta rekonstruktsiia system vodopostachannia : navch. posibnyk. Rivne : NUVHP, 2013. 265 s.

Shadura V. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

CREATION OF AN EQUIVALENT MODEL OF WATER INTAKE FROM WELLS BY IDENTIFICATION OF CALCULATION PARAMETERS

In the period of exploitation of downhole water intake next tasks must be solved: being of the optimal modes; determination of the rational placing of pumping equipment; clarification of supplies of underwaters and determination of optimal variant of reconstruction of water intake. In these conditions, the issue of resource conservation becomes more and more important, which means for the water supply systems the rational use of drinking water, reducing its losses, saving of materials and energy resources. The solution of these issues is

possible through the intensification of the work of water supply facilities, improving their technical reliability and cost-effectiveness. The got actual descriptions of elements of water intake are used for creation of equivalent mathematical model of water intake, that is the system of linear equalizations that describe the system of interactive mining holes and system of nonlinear equalizations of motion of water in pipeline communications. The identification of the model is to calculate the coefficients of the equations of the function, with well flow rates independent of the first system and piezometric pressures independent of the first system. The joint solution of these systems of equations with the «inclusion» of these or other characteristics of the pumps corresponds to different modes of operation of the water intake. As a result of the decision, the dependent variables, which are the parameters of the water intake mode, the position of the water levels in the wells, the flow rates of the pipeline sections, the power consumption of the pumping units, and so on, are uniquely determined. The choice of piezometric markings of the head, which is measured in the field studies at the current intakes, due to the fact that pressure measurement is available, easily and accurately carried out in the field studies. By means of mathematical model the different variants of change of calculation chart of water intake, parameters of aquiferous complex and barrage equipment can be analysed for determination of the measures sent to the improvement of exploitation and perspective development.

***Keywords:* water intake from mining holes, equivalent mathematical model, authentication of parameters, optimal modes.**

Шадуря В. О., к.т.н., доцент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, м. Ровно)

СОЗДАНИЕ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ МОДЕЛИ ВОДОЗАБОРА ИЗ СКВАЖИН ПУТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

В период эксплуатации скважинного водозабора должны решаться следующие задания: нахождение оптимальных режимов; определение рациональной расстановки насосного оборудования; уточнение запасов подземных вод и определение оптимального варианта реконструкции водозабора. Полученные фактические харак-



теристики элементов водозабора используются для создания эквивалентной математической модели водозабора, который является системой линейных уравнений, которые описывают систему взаимодействующих скважин и систему нелинейных уравнений движения воды в трубопроводных коммуникациях. С помощью математической модели могут быть проанализированы разные варианты изменения расчетной схемы водозабора, параметров водоносного комплекса и водоподъемного оборудования, для определения мероприятий, направленных на улучшение эксплуатации и перспективное развитие водозабора.

***Ключевые слова:* водозабор из скважин, эквивалентная математическая модель, идентификация параметров, оптимальные режимы.**
