

**Графоаналитический метод расчета скважинного водозабора**

Крицкая В. И., Ивашечкин В. В.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

*Групповые водозаборы подземных вод с линейными сборными водоводами широко применяются для водоснабжения предприятий и населенных пунктов. Гидравлические расчеты групповых водозаборов выполняют как на стадии технико-экономического сравнения вариантов размещения скважин и технологических схем подачи и распределения воды, так и на стадиях проектирования выбранного варианта водозабора и его эксплуатации. При гидравлических расчетах используются аналитические и графоаналитические методы. Аналитический метод расчета требует составления специальной программы расчета на ЭВМ, а графоаналитический – обладает повышенной трудоемкостью, но более нагляден для работников эксплуатирующей организации, которых интересует прогноз влияния снижения характеристик скважин, насосов и системы распределения воды на уменьшение производительности всего водозабора и отдельных скважин во времени.*

Целью настоящей работы является анализ результатов аналитического и графоаналитического способов определения подачи насосов скважин на примере расчета режимов эксплуатации линейного скважинного водозабора.

Рассмотрим работу четырех насосов, установленных в скважинах водозабора (насосы № 1, № 2, № 3, № 4) и подающих воду в резервуар (РЧВ) (рис. 1).

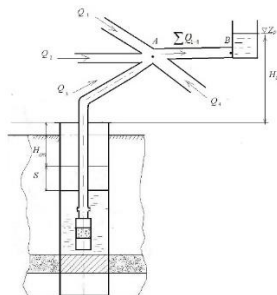


Рис. 1. Расчетная схема работы четырех скважинных насосов на резервуар

Определяем подачу воды в резервуар при совместной работе четырех насосов аналитическим и графоаналитическим способами.

Аналитический способ предполагает составление системы из четырех нелинейных алгебраических уравнений, каждое из которых представляет собой баланс напоров потока в трубопроводе (от насоса до резервуара) [1].

Напор погружного насоса  $H^H$  в функции расхода  $Q$  обычно аппроксимируют полиномиальной зависимостью

$$H^H = -aQ^2 + bQ + c, \quad (1)$$

где  $a$  – некоторый фиктивный напор насоса;  $b$ ,  $c$  – коэффициенты кривой  $H^H = f(Q)$  насоса, характеризующие собой его фиктивное гидравлическое сопротивление.

Соответственно рабочие характеристики насосов № 1, № 2, № 3, № 4 (рис. 1), установленных в скважинах соответствующих номеров можно представить в виде

$$H_i^H = -a_i Q_i^2 + b_i Q_i + c_i, \quad (2)$$

Система четырех нелинейных алгебраических уравнений имеет вид:

$$H_i^H = H_{cvi} + H_{vi} + s_i + h_{vni} + h_{lni} + h_{AB}, \quad (3)$$

где  $H_{cvi}$  – статический уровень воды в скважине;  $H_{vi}$  – высота от устья скважины до уровня воды в резервуаре;  $s_i$  – переменные во времени понижения уровней воды в скважинах с учетом кольтатационных процессов

$s_i = \frac{Q_i e^{\beta_i t}}{q_i}$ ;  $\beta_i$  – коэффициент старения;  $t$  – время;  $h_{vni}$ ,  $h_{lni}$ ,  $h_{AB}$  – потери напора по длине соответственно в водоподъемных трубах, в линиях подключения и в сборном водоводе длиной  $l_{AB}$ .

Потери напора определяют по формулам:

$$h_i = A_i l_i Q_i^2, \quad (4)$$

$$h_{AB} = A_{AB} l_{AB} \left( \sum_{i=1}^4 Q_i \right)^2, \quad (5)$$

где  $A_b$  – удельное сопротивление соответственно в водоподъемных трубах и линиях подключения;  $A_{AB}$  – в сборном водоводе.

Исходные данные для расчета представлены на рис. 2.

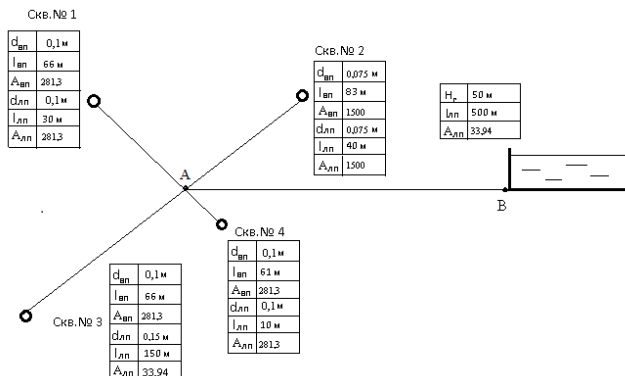


Рис. 2. Исходные данные для расчета

Для определения расходов  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  составим систему нелинейных уравнений

$$\begin{cases}
 -a_1 Q_1^2 + b_1 Q_1 + c_1 = H_{сч1} + H_r + \frac{Q_1 e^{\beta_1 t}}{q_1} + A_{лп1} l_{лп1} Q_1^2 + A_{лн1} l_{лн1} Q_1^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_2 Q_2^2 + b_2 Q_2 + c_2 = H_{сч2} + H_r + \frac{Q_2 e^{\beta_2 t}}{q_2} + A_{лп2} l_{лп2} Q_2^2 + A_{лн2} l_{лн2} Q_2^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_3 Q_3^2 + b_3 Q_3 + c_3 = H_{сч3} + H_r + \frac{Q_3 e^{\beta_3 t}}{q_3} + A_{лп3} l_{лп3} Q_3^2 + A_{лн3} l_{лн3} Q_3^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 -a_4 Q_4^2 + b_4 Q_4 + c_4 = H_{сч4} + H_r + \frac{Q_4 e^{\beta_4 t}}{q_4} + A_{лп4} l_{лп4} Q_4^2 + A_{лн4} l_{лн4} Q_4^2 + A_{AB} l_{AB} (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2
 \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases}
 833143Q_1^2 + 2305,7Q_1 + 172,42 = 38,7 + 50 + \frac{Q_1 \cdot 1}{3} + 281,3 \cdot 66 \cdot Q_1^2 + 281,3 \cdot 30 \cdot Q_1^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_2^2 + 2305,7Q_2 + 172,42 = 40 + 50 + \frac{Q_2 \cdot 1}{0,6} + 1500 \cdot 83 \cdot Q_2^2 + 1500 \cdot 40 \cdot Q_2^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_3^2 + 2305,7Q_3 + 172,42 = 43,7 + 50 + \frac{Q_3 \cdot 1}{0,8} + 281,3 \cdot 66 \cdot Q_3^2 + 33,94 \cdot 150 \cdot Q_3^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2 \\
 833143Q_4^2 + 2305,7Q_4 + 172,42 = 41,8 + 50 + \frac{Q_4 \cdot 1}{1,6} + 281,3 \cdot 61 \cdot Q_4^2 + 281,3 \cdot 10 \cdot Q_4^2 + 33,94 \cdot 500(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)^2
 \end{cases}$$

Решаем систему уравнений численным методом на ЭВМ. При работе четырех насосов получили следующие подачи:  $Q_1 = 9,46$  л/с,  $Q_2 = 6,4$  л/с,

$Q_3 = 7,29$  л/с,  $Q_4 = 8,66$  л/с. При работе двух насосов (№ 1 и № 3) получим:  $Q_1 = 10,35$  л/с,  $Q_3 = 8,12$  л/с.

Также решить эту задачу можно и графоаналитическим способом. Пусть работают только две скважины водозабора № 1 и № 3. Определим подачи насосов ЭЦВ8-25-100, установленных в этих скважинах [2].

Начало отсчета координат  $Q-H$  располагаем на отметке статического уровня  $Z_{ст3}$  скважины № 3 и принимаем за 0. Наносим на графике линию статического уровня воды в скважине № 1, имеющую отметку  $Z_{ст1} = Z_{ст3} + 5$  м и отметку верхнего уровня воды в сборном резервуаре  $Z_p = H_{ст} + H_r$ . Строим характеристику  $s_3$  скважины № 3 по выражению  $s_3 = \frac{Q_3 e^{\beta_3 t}}{q_3}$ , при произвольных значениях  $Q_3$  и при  $t = 0$ . Аналогично стро-

им характеристику скважины  $s_1$  по выражению  $s_1 = \frac{Q_1 e^{\beta_1 t}}{q_1}$ . Для построе-

ния характеристик совместной работы скважин, насосов и водоводов от скважин до точки  $A$  строим характеристики насосов  $H_1^H$  и  $H_3^H$  по выражению вида (2), откладывая их вверх от соответствующих отметок  $z_{ст1}$  и  $z_{ст3}$ . Строим характеристики трубопроводов  $h_1$  и  $h_3$  по выражению (4), откладывая их вверх от соответствующих отметок  $Z_{ст1}$  и  $z_{ст3}$ . Отнимаем от характеристик насосов значения характеристик скважин и водоводов. Полученные характеристики совместной работы скважин, насосов и водоводов  $H_1^{H,s,h}$  и  $H_3^{H,s,h}$  называются приведенными характеристиками к точке  $A$ . Суммируем эти характеристики вдоль оси расходов  $Q$  и получаем приведенную характеристику  $H_{1+3}^{H,s,h}$  работы двух насосов. Строим характеристику  $h_{AB}$  водовода  $AB$  по выражению (5), откладывая значения напоров вверх от линии уровня воды в баке  $z_6 = H_{ст3} + H_r$  и  $z_{ст3}$ . Точка пересечения  $C$  характеристики  $h_{AB}$  с суммарной приведенной характеристикой  $H_{1+3}^{H,s,h}$  является рабочей точкой. Абсцисса точки  $C$  дает суммарную подачу  $Q_{сумм}$  двух насосов. Проведя горизонтальную линию из точки  $C$  до пересечения с кривыми  $H_1^{H,s,h}$  и  $H_3^{H,s,h}$  находим подачи насосов  $Q_1$  и  $Q_3$ .

Для лучшего восприятия аналитического и графоаналитического способов приведем пример работы двух скважин (№ 1 и № 3) (рис. 3)

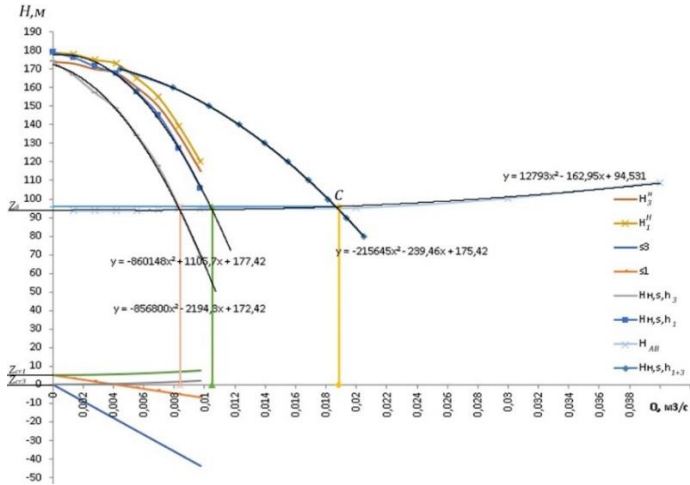


Рис. 3. График для нахождения приведенной характеристики к точке А

При решении графоаналитическим способом получены следующие расходы:  $Q_{\text{сумм}} = 18,65$  л/с,  $Q_1 = 10,39$  л/с,  $Q_3 = 8,25$  л/с.

Таким образом, в данной работе выполнен анализ результатов аналитического и графоаналитического способов определения подачи насосов скважин на примере расчета режимов эксплуатации линейного скважинного водозабора. Погрешность составила

$$(18,65 - 18,47) / 18,654 \times 100 \% = 0,96\%.$$

### Литература

1. Карасев, Б. В. Насосные и воздуховодные станции / Б. В. Карасев. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 325 с.
2. Карелин, В. Я. Насосы и насосные станции: Учеб для вузов. – 2-е. изд., перераб. и доп. / В. Я. Карелин, А. В. Минаев – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.