

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ДИАМЕТРОВ ТРУБ СБОРНЫХ ВОДОВОДОВ ГРУППОВЫХ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Удельный вес водоводов в общей строительной стоимости водозаборов подземных вод значителен и составляет около 22...42%. Велики также и затраты энергии на преодоление сопротивления водоводов. Поскольку при выбранной схеме водоводов затраты энергии зависят от расчетных диаметров труб, выбор и обоснование последних имеет не только важное практическое, но и научно-методическое значение. Групповые водозаборы подземных вод (рис. 1) представляют собой водохозяйственные системы, питание сетей которых осуществляется рядом взаимосвязанных источников с различными техническими, энергетическими и экономическими характеристиками, и в этом смысле существенно отличаются от подобных систем подачи и распределения воды, питаемых одним источником. Рассмотрим эти различия применительно к общей схеме групповых водозаборов подземных вод.

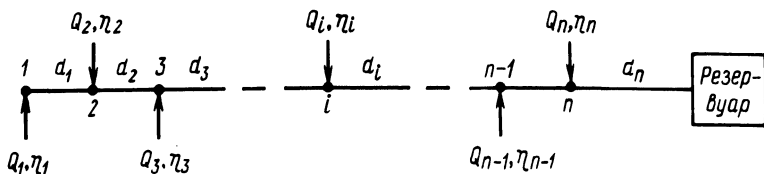


Рис. 1.

Известно, что увеличение диаметра любого участка сборного водовода повышает его строительную стоимость, а следовательно, и общую стоимость водозабора и величину его амортизационных отчислений. Одновременно оно уменьшает эксплуатационные издержки водозабора вследствие снижения гидравлического сопротивления водоводов и уменьшения затрат энергии на их преодоление. Поэтому при заданных длинах участков сборного водовода и известных величинах подач воды из отдельных его скважин зависящую от d_i часть приведенных затрат можно представить в виде

$$3(d_i) = \left(E + \frac{p_{a,в}}{100} \right) \sum_{i=1}^n l_i c_{oi} (d_i) + \chi \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \right.$$

$$+ \pi T) \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{\eta_i} \sum_{k=i}^n \Delta h_k (d_k), \quad (1)$$

где E - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений в водоснабжении, равный 0,12; $p_{a,B}$ - процент амортизационных отчислений для водоводов; $l_i^{a,B}$ - длина расположенных между скважинами участков водовода; $c_{oi}(d_i)$ - строительная стоимость единицы длины водовода на этих участках, являющаяся функцией его диаметра; χ - коэффициент пропорциональности, равный 0,00273 квт-ч/м⁴ и характеризующий собой полезные затраты энергии в квт-ч при подъеме 1 м³ воды на высоту в 1 м; K - коэффициент учета осветительной и вспомогательной нагрузки водозаборов, равный 1,05; P - коэффициент трансформаторного резерва на подстанции водозабора, равный 1,5; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности энергоустановок водозабора; δ - тариф на годовую оплату единицы установленной мощности водозабора; π - тариф на оплату единицы потребленной водозабором электроэнергии; T - продолжительность работы водозабора в ч за год с учетом полного использования его расчетной производительности, равная обычно 7000... 7500 ч; Q_i - часовая производительность отдельных скважин водозабора в м³/ч; η_i - к.п.д. насосного оборудования скважин; $\sum_{k=i}^n \Delta h_k (d_k)$ - сумма потерь напора на отрезке от

рассматриваемой k -й скважины до сборного резервуара, зависящая при данных Q_i только от принятых диаметров труб на отдельных участках водовода этого отрезка; $\Delta h_k (d_k)$ - потери напора на отдельных участках данного отрезка.

Функцию (1) в развернутом виде можно представить как

$$\begin{aligned} 3(d_i) = & \left(E + \frac{p_{a,B}}{100} \right) \left[1_1 c_{o1} (d_1) + 1_2 c_{o2} (d_2) + \dots + \right. \\ & \left. + 1_n c_{on} (d_n) \right] + \chi \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \pi T \right) \left\{ \frac{Q_1}{\eta_1} \left[r_1 (d_1) Q_1^2 + \right. \right. \\ & + r_2 (d_2) (Q_1 + Q_2)^2 + \dots + r_n (d_n) (Q_1 + Q_2 + \dots + \\ & \left. \left. + Q_n)^2 \right] + \frac{Q_2}{\eta_2} \left[r_2 (d_2) (Q_1 + Q_2)^2 + r_3 (d_3) (Q_1 + \right. \right. \end{aligned}$$

$$+ Q_2 + Q_3)^2 + \dots + r_n (d_n) (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \Big] + \dots + \frac{Q_n}{\gamma_n} \left[r_n (d_n) (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \right] \Big\} = \min, \quad (2)$$

где $r_i (d_i)$ - коэффициенты гидравлического сопротивления отдельных участков сборного водовода.

Заменяя величины $r_i (d_i)$ и $c_{oi} (d_i)$ в соответствии с известными выражениями $r_i (d_i) = s_{oi} (d_i) l_i = \frac{c_i l_i}{d_i^m}$ и $c_{oi} = a + b d_i^\alpha$, получим

$$\begin{aligned} Z(d_i) = & \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) \left[l_1 (a + b d_1^\alpha) + l_2 (a + b d_2^\alpha) + \dots + l_n (a + b d_n^\alpha) \right] + c \chi \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) \left\{ \frac{Q_1}{\gamma_1} \left[\frac{l_1}{d_1^m} Q_1^2 + \frac{l_2}{d_2^m} (Q_1 + Q_2)^2 + \dots + \frac{l_n}{d_n^m} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \right] + \frac{Q_2}{\gamma_2} \left[\frac{l_2}{d_2^m} (Q_1 + Q_2)^2 + \frac{l_3}{d_3^m} (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2 + \dots + \frac{l_n}{d_n^m} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \right] + \dots + \frac{Q_n}{\gamma_n} \left[\frac{l_n}{d_n^m} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \right] \right\} = \min. \quad (3) \end{aligned}$$

Взяв частные производные от выражения (3) по каждому из переменных d_i и приравняв результат дифференцирования нулю, получим систему уравнений, из которых можно определить значение d_i , удовлетворяющее условию минимума затрат по водозабору:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial Z(d_i)}{\partial d_1} = & \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_1^{\alpha-1} - \frac{\chi c m}{d_1^{m+1}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) \left[\frac{Q_1}{\gamma_1} Q_1^2 \right] = 0, \end{aligned} \right\} (4),$$

$$\left. \begin{aligned}
 & \frac{\partial z(d_i)}{\partial d_2} = \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B}}{100} \right) d_2^{\alpha-1} - \frac{\chi cm}{d_2^{m+1}} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \right. \\
 & \left. + \mu T \right) \left[\frac{Q_1}{\eta_1} (Q_1 + Q_2)^2 + \frac{Q_2}{\eta_2} (Q_1 + Q_2)^2 \right] = 0, \\
 & \text{-----} \\
 & \frac{\partial z(d_i)}{\partial d_i} = \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B}}{100} \right) d_i^{\alpha-1} - \frac{\chi cm}{d_i^{m+1}} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \right. \\
 & \left. + \mu T \right) \left[\frac{Q_1}{\eta_1} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i)^2 + \frac{Q_2}{\eta_2} (Q_1 + Q_2 + \dots + \right. \\
 & \left. + Q_i)^2 + \dots + \frac{Q_i}{\eta_i} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i)^2 \right] = 0, \\
 & \text{-----} \\
 & \frac{\partial z(d_i)}{\partial d_n} = \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B}}{100} \right) d_n^{\alpha-1} - \frac{\chi cm}{d_n^{m+1}} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \right. \\
 & \left. + \mu T \right) \left[\frac{Q_1}{\eta_1} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 + \frac{Q_2}{\eta_2} (Q_1 + Q_2 + \dots + \right. \\
 & \left. + Q_n)^2 + \dots + \frac{Q_n}{\eta_n} (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \right] = 0.
 \end{aligned} \right\} (4)$$

Умножив полученные уравнения системы соответственно на величину d_i^{m+1} и произведя некоторые их преобразования, получим

$$\alpha b \left(E + \frac{p_{a.B}}{100} \right) d_1^{\alpha+m} - \chi cm \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \mu T \right) Q_1^2 \frac{Q_1}{\eta_1} = 0 \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned}
 & \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_2^{\alpha+m} - \chi_{cm} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \right. \\
 & \left. + \pi T \right) (Q_1 + Q_2)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} \right) = 0, \\
 & \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_3^{\alpha+m} - \chi_{cm} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \pi T \right) (Q_1 + \\
 & + Q_2 + Q_3)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \frac{Q_3}{\eta_3} \right) = 0, \\
 & \dots \dots \dots \\
 & \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_i^{\alpha+m} - \chi_{cm} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \pi T \right) (Q_1 + \\
 & + Q_2 + \dots + Q_i)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \dots + \frac{Q_i}{\eta_i} \right) = 0, \\
 & \dots \dots \dots \\
 & \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_n^{\alpha+m} - \chi_{cm} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \pi T \right) \times \\
 & \times (Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \dots + \frac{Q_n}{\eta_n} \right) = 0. \\
 & \dots \dots \dots
 \end{aligned} \right\} (5)$$

В общем виде любое уравнение этой системы можно представить как

$$\alpha b \left(E + \frac{p_{a.B.}}{100} \right) d_i^{\alpha+m} - \chi_{cm} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \right. \\
 \left. + \pi T \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^2 \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{\eta_j} = 0 \quad (6) \\
 (i = 1, 2, 3, \dots, n; j = 1, 2, 3, \dots, i).$$

Разрешив эти уравнения относительно d_i , получим искомые оптимальные значения диаметров отдельных участков сборного водовода, удовлетворяющие минимуму функции (1). Из (6), в частности, следует, что

$$d_{i \text{ опт}} = \left[\frac{\chi_{\text{см}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \pi T \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^2 \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{\eta_j}}{\alpha_b \left(E + \frac{P a_{\text{в}}}{100} \right)} \right]^{\frac{1}{\alpha+m}} \quad (7)$$

Из выражения (7) видно, что величина оптимального диаметра любого из участков сборного водовода зависит не только от расхода воды на этом участке, но является также функцией распределения этих расходов по длине сборного водовода и величины к.п.д. насосных агрегатов. Легко показать, что при $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i = Q$ и $\eta_1 = \eta_2 = \dots = \eta_i = \eta$ полученная зависимость для определения d_1 от Q превращается в известное выражение для определения оптимальных диаметров отдельных участков магистральных водоводов, питаемых в начальной точке насосной станцией с заданными Q и η .

Таким образом, рассмотренная методика определения $d_{i \text{ опт}}$ учитывает все основные особенности работы водозабора подземных вод и может быть рекомендована для широкого использования в расчетах. Поскольку величина $\frac{1}{\alpha+m}$ дробна, такие расчеты удобнее выполнять графо-аналитическим способом, используя для этих целей графики, приведенные на рис. 2. При этом в зависимости от требуемой точности расчета можно рекомендовать любой вариант.

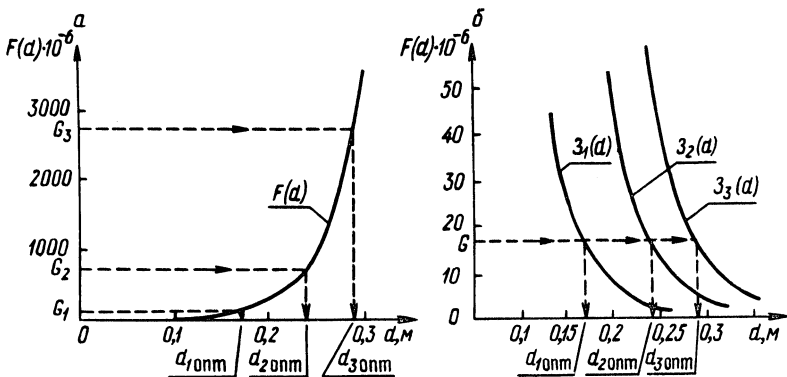


Рис. 2.

По первому варианту расчета в предполагаемом диапазоне возможного изменения диаметров сборного водовода строим (рис. 2,а) функцию $F(d)$ первого члена выражения (6) вида

$$F(d) = \alpha b \left(E + \frac{P_{a.B.}}{100} \right) d^{\alpha+m} \quad (8)$$

Затем для каждого из участков сборного водовода определяем значения второго члена этого выражения

$$G_i = \chi \text{см} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \mu T \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^2 \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{\eta_j} \quad (9)$$

Отложив полученные значения $G_1; G_2; \dots; G_i; \dots; G_n$ на вертикальной оси функции $F(d)$ и спроектировав их на кривую этой функции, получим искомые значения $d_{i \text{ опт}}$ (рис. 2, а).

По второму варианту расчета используют несколько преобразованное выражение (6). В частности, если разделить его на величину $d_i^{\alpha+m}$, то получим

$$\alpha b \left(E + \frac{P_{a.B.}}{100} \right) - \frac{\chi \text{см}}{d_i^{\alpha+m}} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \mu T \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^2 \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{\eta_j} = 0 \quad (10)$$

Здесь постоянной величиной является уже первый член расчетного выражения, а переменной и зависимой от d_i - второй. Поэтому рассматриваемая задача может быть решена следующим образом. Для отдельных участков сборного водовода строим функции вида

$$F_i(d_i) = \frac{\chi \text{см}}{d_i^{\alpha+m}} \left(\frac{KP\delta}{\cos\varphi} + \mu T \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^2 \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{\eta_j} \quad (11)$$

Затем находим величину

$$G = \alpha b \left(E + \frac{P_{a.B.}}{100} \right) \quad (12)$$

Отложив найденное значение G на вертикальной оси функции $F_i(d_i)$ и спроектировав его на эти функции, получим искомые диаметры отдельных участков сборного водовода (рис. 2, б).

Действительно, пусть необходимо определить оптимальные диаметры отдельных участков сборного водовода для водозабора из трех скважин, дебиты которых составляют соответственно величины $Q_1 = 54$, $Q_2 = 72$, $Q_3 = 80$ м³/час, а $\eta_1 = 0,45$, $\eta_2 = 0,48$, $\eta_3 = 0,50$. Водоводы стальные с коэффициентами $b = 60$, $m = 5,3$; $\alpha = 1,7$; $c = 1,35 \cdot 10^{-10}$. Время работы водозабора в переводе на его расчетную производи-

Таблица 1

d, м	0,10	0,150	0,200	0,250	0,300
F(d)	1,7 · 10 ⁻⁶	28,9 · 10 ⁻⁶	216,5 · 10 ⁻⁶	1033 · 10 ⁻⁶	3700 · 10 ⁻⁶

гелность составляет $T = 8000$ ч в году. Тарифные показатели оплаты мощности и энергии $\zeta = 18,6$ руб/квт-год и $\pi = 0,0065$ руб/квт-ч. Расчетные значения величин E и $p_{a.B}$ соответственно равны 0,125 и 4,1%, а $KP = 1,2$ и $\cos \varphi = 0,85$.

Пользуясь первым вариантом графического расчета, получим, что функция $F(d)$ в данном случае будет равна

$$F(d) = \alpha b \left(E + \frac{p_{a.B}}{100} \right) d^{\alpha+m} = 1,7 \cdot 60 (0,125 + \frac{4,1}{100}) d^{1,7+5,3} = 16,9 d^7. \quad (13)$$

Ординаты этой функции приведены в табл. 1, а кривая функции представлена на рис. 2, а.

Значения величин G_i при заданных исходных данных будут равны

$$G_1 = \chi \text{см} \left(\frac{KP \delta}{\cos \varphi} + \pi T \right) Q_1^2 \frac{Q_1}{\eta_1} = 0,00273 \cdot 1,35 \cdot 10^{-10} \times 5,3 \left(\frac{1,2 \cdot 18,6}{0,85} + 0,0065 \cdot 8000 \right) 54^2 \frac{54}{0,45} = 53,3 \cdot 10^{-6};$$

$$G_2 = \chi \text{см} \left(\frac{KP \delta}{\cos \varphi} + \pi T \right) (Q_1 + Q_2)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} \right) = 0,00273 \cdot 1,35 \cdot 10^{-10} \cdot 5,3 \left(\frac{1,2 \cdot 18,6}{0,85} + 0,0065 \cdot 8000 \right) \times (54 + 72)^2 \left(\frac{45}{0,45} + \frac{75}{0,48} \right) = 651 \cdot 10^{-6};$$

$$G_3 = \chi \text{см} \left(\frac{KP \delta}{\cos \varphi} + \pi T \right) (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \frac{Q_3}{\eta_3} \right) = 0,00273 \cdot 1,35 \cdot 10^{-10} \cdot 5,3 \left(\frac{1,2 \cdot 18,6}{0,85} + \right.$$

$$+ 0,0065 \cdot 8000) (54 + 72 + 80)^2 \left(\frac{54}{0,45} + \frac{72}{0,48} + \frac{80}{0,50} \right) =$$

$$= 2780 \cdot 10^{-6}.$$

Отложив найденные значения величин G_i на кривой $F(d)$, найдем (рис. 2, б) оптимальные значения диаметров всех трех участков сборного водовода. Они соответственно равны $d_1 = 0,154$ м, $d_2 = 0,230$ м и $d_3 = 0,294$ м. При проектировании водоводов эти диаметры принимаются ближайшими к существующему сортаменту труб, например $d_1 = 0,150$, $d_2 = 0,250$, $d_3 = 0,300$ м.

Что касается диаметров, подключающих скважины линий и водоподъемных колонн, то они могут определяться этим же способом. Величина G_i в данном случае находится для каждой скважины в отдельности с помощью выражения

$$G_{\text{подкл}} = \chi \text{см} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) \frac{Q^3}{\eta}, \quad (14)$$

где Q , η , χ , m принимаются применительно к данной скважине и линии ее подключения.

Функция $F(d)$ в этом случае будет прежней, если материал труб линий подключения не отличается от материала труб сборного водовода. Если же эти трубы качественно другие, то строится новая функция $F(d)$ в соответствии с экономическими и гидравлическими показателями этих труб.

При использовании второго варианта расчета определим сначала функции $F_1(d_1)$, $F_2(d_2)$, $F_3(d_3)$. С учетом только что приведенных вычислений величин G_1 , G_2 , G_3 они будут равными

$$F_1(d_1) = \frac{\chi \text{см}}{d_1^{\alpha+m}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) Q_1^2 \frac{Q_1}{\eta_1} = 53,3 \cdot 10^{-6} d^{-7};$$

$$F_2(d_2) = \frac{\chi \text{см}}{d_2^{\alpha+m}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) (Q_1 + Q_2)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} \right) =$$

$$= 651 \cdot 10^{-6} d^{-7};$$

$$F_3(d_3) = \frac{\chi \text{см}}{d_3^{\alpha+m}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2 \left(\frac{Q_1}{\eta_1} + \frac{Q_2}{\eta_2} + \frac{Q_3}{\eta_3} \right) = 2780 \cdot 10^{-6} d^{-7}.$$

Таблица 2

d, м	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,400
$F_1(d_1)$	522	31,20	4,16	0,875	-	-
$F_2(d_2)$	-	-	50,90	10,68	2,98	-
$F_3(d_3)$	-	-	217	45,50	12,7	-

Задавшись несколькими величинами d для отдельных участков сборных водоводов, получим значения этих функций, которые приведены в табл. 2 и представлены на рис. 2, б.

Определив значение постоянной величины

$$G = \alpha b \left(E + \frac{P_{a.B.}}{100} \right) = 1,7 \cdot 60 \left(0,125 + \frac{4,1}{100} \right) = 16,9$$

и спроектировав ее (рис. 2, б) на функции $F_i(d_i)$, получим оптимальные значения $d_i^{\text{опт}}$, соответственно равные $d_1^{\text{опт}} = 0,162$ м, $d_2^{\text{опт}} = 0,232$ м, $d_3^{\text{опт}} = 0,286$ м.

Таким образом, мы получили практически те же значения $d_i^{\text{опт}}$, но с помощью другого расчетного варианта. Последний вариант является более точным и ему следует отдавать предпочтение, особенно при расчете водозаборов с большим числом скважин.

Рассмотренная методика определения оптимальных диаметров отдельных участков сборного водовода предназначена для самого общего случая водозабора, когда заданные дебиты скважин и их насосное оборудование приняты различными. При проектировании водозаборов это возможно в случае, когда водозабор создается на базе уже пробуренных скважин с известными характеристиками, намеченными рабочими дебитами Q_j и предположительно выбранными насосными агрегатами. Но если и в этом случае к.п.д. насосных агрегатов на всех скважинах будет одинаковым ($\eta_1 = \eta_2 = \dots = \eta_n = \eta$), расчетные зависимости для определения $d_i^{\text{опт}}$ получат более простой вид. Например, для второго варианта расчета эта зависимость будет представлена выражением вида

$$\alpha b \left(E + \frac{P_{a.B.}}{100} \right) - \frac{\chi_{cm}}{\eta d_i^{\alpha+m}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + cT \right) \left(\sum_{j=1}^i Q_j \right)^3 = 0. \quad (15)$$

Если водозабор будет иметь и одинаковые скважины ($Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q$), то эта зависимость получит вид

$$\alpha b \left(E + \frac{P_{a.v.}}{100} \right) - \frac{\chi c m}{\eta d_i^{\lambda+m}} \left(\frac{K P \delta}{\cos \varphi} + \mu T \right) i^3 Q^3 = 0, \quad (16)$$

где i – номер рассматриваемого участка сборного водовода; Q – дебит одной скважины водозабора.

Следует отметить, что полученные по данному способу оптимальные значения диаметров отдельных участков сборных водоводов в среднем на один сортамент труб больше диаметра, найденного с помощью экономического фактора. Это различие объясняется, по-видимому, разной степенью учета определяющих рассматриваемую величину данных.

УДК 628.17

И.К. Лазарчик

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ТУПИКОВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ МНОГОСЕКЦИОННОГО ЖИЛОГО ДОМА

Как известно [1], при выборе наилучшего варианта любого проектируемого объекта исходят из минимума приведенных затрат (3):

$$Z = U + EC,$$

где U – эксплуатационные затраты за 1 год (себестоимость); E – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений, принимаемый $E=0,12$, при сроке окупаемости $T = 8,33$ года; C – капитальные вложения (сметная стоимость)^p.

Эксплуатационные затраты (U) для систем водоснабжения и канализации в общем виде равны:

$$U = U_z + U_p + U_{\varepsilon} + U_T + U_a + U_{\text{рем}} + U_{\text{пр}},$$

где U_z – расходы на зарплату и отчисления на социальное страхование; U_p – расходы на реагенты; U_{ε} – расходы на электроэнергию; U_T – расходы на тепловую энергию; U_a – сумма амортизационных отчислений; $U_{\text{рем}}$ – расход на текущий ремонт; $U_{\text{пр}}$ – прочие расходы.