

С. М. КАЗАРЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ВОДНОГО ОБМЕНА НА ОРОШАЕМЫХ
ЗЕМЛЯХ НА ФОНЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Проблема рационального и экономически эффективного использования водных ресурсов, в том числе подземных вод, является весьма актуальной и важной в практическом отношении. Основной идеей методики решения данной задачи оптимизации является получение достаточно надежных результатов, оптимальных технико-экономических показателей и допустимых в гидродинамическом отношении [1]. Математическая модель задачи выбора рационального варианта водозабора подземных вод из многослойной толщи разрабатывалась при следующих предположениях:

1) откачка воды происходит или одновременно из двух напорных горизонтов, или только из нижнего, или только из верхнего напорных горизонтов [2]; 2) водозабор состоит из n эксплуатационных скважин, каждая из которых имеет расход Q_k ; 3) расходы всех скважин различны, но сохраняются постоянными в течение всего периода эксплуатации: $Q = \text{const}$ ($0 < t \leq t^*$); 4) понижения уровней в скважинах и в определенных точках не должны превышать их предельно допустимого значения:

$$S_k^{(i)}(t^*) \leq S_k^{(i)*}(t^*) \quad (i = 0, 1, 2, \quad k = 1, 2, \dots, n);$$

5) неиспользуемое на рассматриваемой водохозяйственной системе насосное оборудование позволяет эксплуатировать скважины с расходами, лежащими в допустимых пределах: $0 < Q_k \leq Q^*$.

Требуется определить количество эксплуатационных скважин, их расположение в пределах рассматриваемого участка, расход каждой скважины так, чтобы обеспечить максимальный суммарный водозабор при минимальных затратах на сооружение и эксплуатацию водозабора.

Математическая постановка задачи записывается в виде

$$Q_{\text{сум}} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \max, \quad S_k^{(i)}(t^*) \leq S_k^{(i)*}(t^*), \quad (1)$$

$$0 < Q_k \leq Q_k^*, \quad a \leq x_k \leq b, \quad c \leq y_k \leq d, \quad F = P + E \cdot K = \min,$$

где $S_k^{(i)}(t^*)$ — понижения уровней подземных вод в скважинах, определяемые аналитическими формулами, при различных режимах откачки из напорных горизонтов [2].

Общая постановка (1) относится к классу задач нелинейного программирования сложной структуры, поэтому она будет несколько упрощена, если рассмотреть ее частные случаи.

1. Предполагается, что все скважины работают с одинаковым постоянным расходом, при этом расчетные формулы [2] приводятся к виду при откачке:

из двух горизонтов —

$$Q_k = \frac{A}{R(r_k, t^*) + \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*)}; \quad (2)$$

где

$$A = \left\{ S_2^{(1)}(t^*) - S_{10}(t^*) - \left(\Delta H - \frac{\delta_1}{a_1} \right) \left[M^* \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + D_1 \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A^0 a_1}} \right) - \frac{T_2}{T^1} \right] \right\} 4\pi T;$$

из нижнего горизонта —

$$Q_k = \frac{4\pi T_2 [S_2^{(1)}(t^*) - S_{20}^n(t^*)]}{R(r_k, t^*) + \frac{A^0 B_1^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + 2 \frac{B_2^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A_0 a_1}} \right)}; \quad (3)$$

из верхнего горизонта —

$$Q_k = \frac{4\pi T_1 (S_2^{(1)}(t^*) - S_{10}^0(t^*))}{R(r_k, t^*) + \frac{B_2^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} R(r_{kj}, t^*) + \frac{2A^0 B_1^0}{c} \sum_{j=1}^{n-1} K_0 \left(\sqrt{\frac{r_{kj}^2 c b_0}{A^0 a_1}} \right)}. \quad (4)$$

Получаем следующую постановку:

$$Q_{\text{сум}} = \max; \quad a \leq x_k \leq b; \quad c \leq y_k \leq d; \quad E = P + EK. \quad (5)$$

2. При фиксированном расположении скважин постановка (1) существенно упрощается и рассматривается задача линейного программирования. При этом имеем:

$$\begin{aligned} Q_{\text{сум}} &= Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \max; \\ S_k^{(1)} &= a_{k1} Q_1 + a_{k2} Q_2 + \dots + a_{kn} Q_n + b_{k0} \leq S_k^*; \\ 0 &< Q \leq Q'_k; \quad F = P + EK = \min, \end{aligned} \quad (6)$$

где $a_{kj}, b_{kj} = \text{const}$ — для принятой геометрии расположения скважин и могут быть определены из формул [2] в зависимости от режимов откачки воды из напорных горизонтов.

Такое разделение общей постановки на более простые позволяет при решении задачи комплексно использовать на различных этапах ее решения численные методы нелинейного и линейного программирования. Алгоритм решения задачи разрабатывался для фиксированного

количества эксплуатационных скважин n . Предполагается, что для каждого заданного количества скважин n требуется такое их расположение (координаты x_k, y_k) и режим работы Q_k в течение расчетного периода t^0 , при котором обеспечивается максимальный суммарный водоотбор $Q_{\text{сум}}$ при наименьших затратах на его строительство и эксплуатацию.

Принята следующая схема алгоритма:

1. Задается начальное расположение скважин: векторы $x^0 \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0\}$ и $y^0 \{y_1^0, y_2^0, \dots, y_n^0\}$ — точка $M^0 \{x_k, y_k\}$.
2. Рассматривается постановка (6) — для заданного расположения определяются такие расходы скважин $\{Q_k^0, k = 1, 2, \dots, n\}$, при которых $Q_{\text{сум}} = \sum_{k=1}^n Q_k^0 = \max$, если выполняется ограничение $S_k^0 \leq S_k^{(0)}$ (симплекс-метод). Функция критерия качества полученного решения — суммарный водоотбор

$$\Phi^0 = \sum_{k=1}^n Q_k^0 = \max.$$

3. По специальному алгоритму (датчик случайных чисел) вырабатываются $2n$ случайных чисел — векторы $\alpha^{(1)} = \{\alpha_1^{(1)}, \alpha_2^{(1)}, \dots, \alpha_n^{(1)}\}$ и $\beta = \{\beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \dots, \beta_n^{(1)}\}$ [3].

4. Из точки $\{x^0, y^0\}$ делается случайный шаг в пространстве параметров (x_k, y_k) ; $x^{(1)} = x^{(0)} + h_1 \alpha^{(1)}$, $y^{(1)} = y^{(0)} + h_2 \beta^{(1)}$ — точка $M^{(1)} \{x^{(1)}, y^{(1)}\}$, где h_k — величина рабочего шага поиска. Проверяются условия попадания новой точки $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ в область допустимых значений параметров (x_k, y_k) . Если ограничения не выполнены, то изменением шага h_k точку возвращают в область D .

6. Для нового расположения скважин $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ снова решается задача линейного программирования (постановка 5). Получаем новый вектор $Q^{(1)} = \{Q_1^{(1)}, Q_2^{(1)}, \dots, Q_n^{(1)}\}$ такой, что $\Phi^{(1)} = \sum_{k=1}^n Q_k^{(1)} = \max$.

7. Сравниваются значения функции Φ на двух последовательных шагах — значения $\Phi^{(1)}$ и $\Phi^{(0)}$. Если $\Phi^{(1)} > \Phi^{(0)}$, то это означает, что случайный шаг по координатам по направлению векторов α и β приводит к увеличению функций цели $\Phi(Q_k)$. В этом случае попытка считается удачной, и переход к следующей точке $\{x^{(2)}, y^{(2)}\}$ происходит из точки $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ в том же направлении случайных векторов $\alpha^{(1)}, \beta^{(1)}$: $x^{(2)} = x^{(1)} + h_1 \alpha^{(1)}$, $y^{(2)} = y^{(1)} + h_2 \beta^{(1)}$. После проверки условия $\{x^{(2)}, y^{(2)}\} \in D$ снова решается задача линейного программирования — определяется Q и весь процесс поиска повторяется.

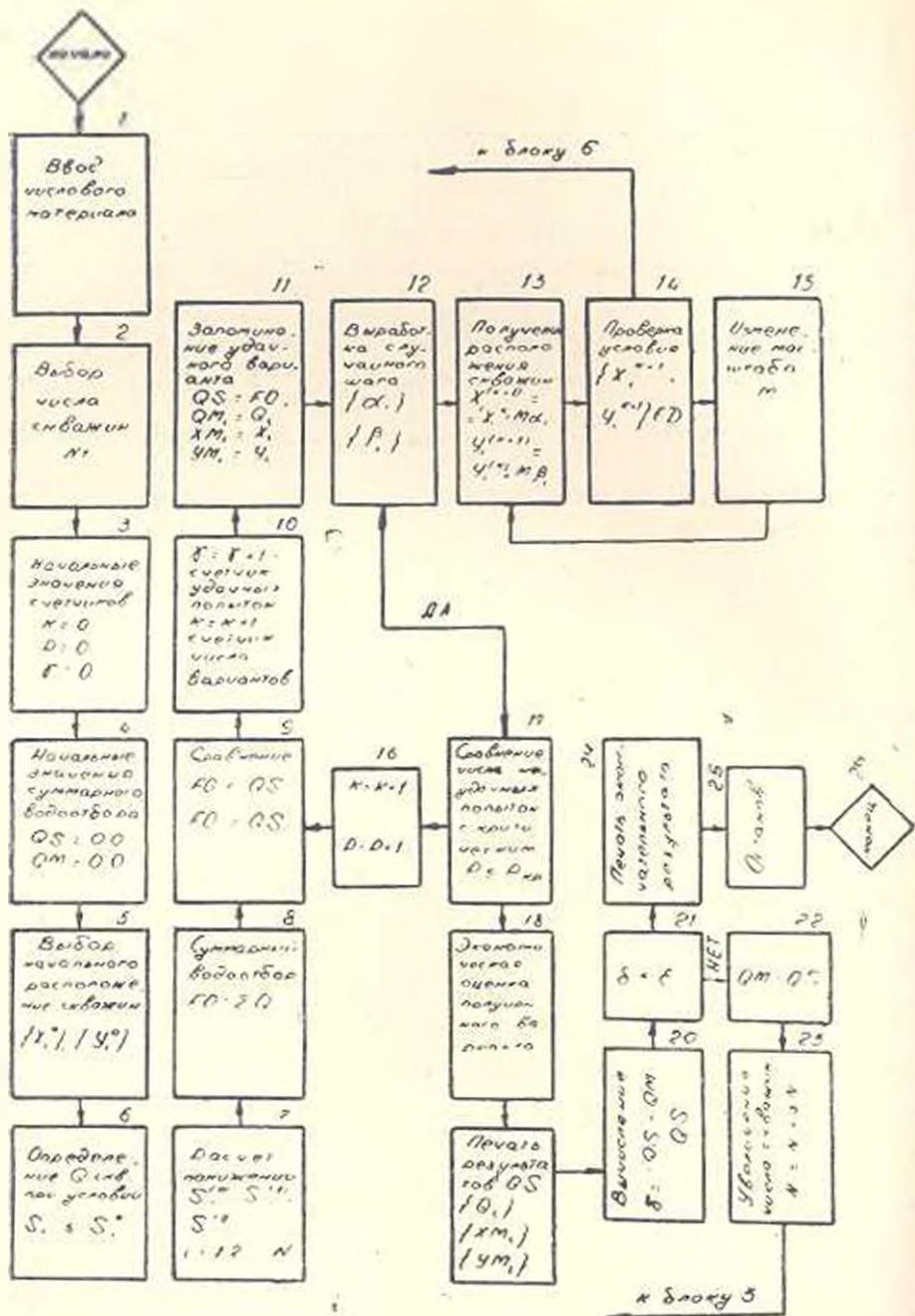


Рис. 1. Блок-схема полного алгоритма задачи оптимизации.

Если $\Phi^{(1)} < \Phi^{(0)}$, то попытка считается неудачной, точка $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}$ отбрасывается как «неудачное расположение координат» и переход к новой точке осуществляется из предыдущей $\{x^{(0)}, y^{(0)}\}$, но в направлении нового случайного вектора $x^{(2)} = (\alpha_1^{(2)}, \dots, \alpha_n^{(2)})$ и $\beta^{(2)} = (\beta_1^{(2)}, \dots, \beta_d^{(2)})$. Таким образом, если $\Phi(M_i) > \Phi(M_{i-1})$, то $x^{(i+1)} = x^{(i)} + h x^{(i)}$,

$y^{l+1} = y^l + h\beta^{(l)}$. Если $\Phi(M_l) < \Phi(M_{l-1})$, то $x^{l+1} = x^l + h\alpha^{(l+1)}$,
 $y^{l+1} = y^l + h\beta^{(l+1)}$.

Процесс поиска считается законченным, если число подряд неудачных попыток после некоторого удачного шага становится больше заданного критического числа. В этом случае последняя точка (x, y) принимается за наилучшее расположение водозаборных скважин, а величины расходов Q_k , которые при полученном расположении дают максимальный водоотбор, — за оптимальный режим эксплуатации водозабора. Для полученного варианта водозабора дается его экономическая оценка — капитальные затраты на строительство и текущие затраты на эксплуатацию.

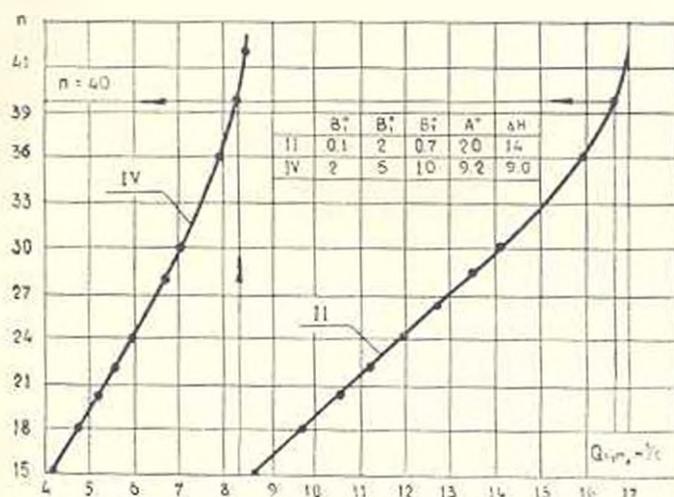


Рис. 2. График зависимости суммарного расхода от числа скважин.

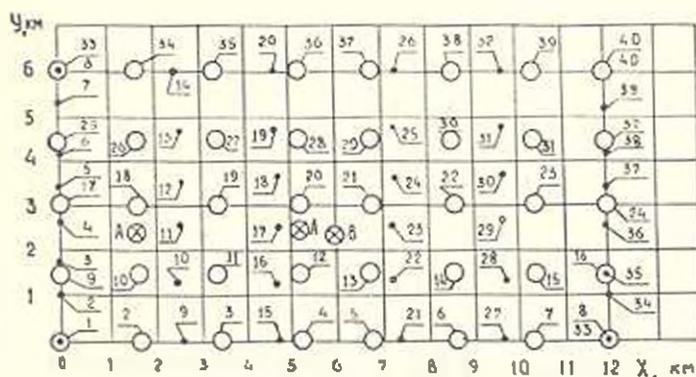


Рис. 3. Плановое размещение 40 скважин. Большие и малые круги-скважинки соответственно 4-го и 2-го вариантов гидрогеологических параметров.

8. После решения задачи для фиксированного n производится увеличение числа скважин и снова решается полная задача. Два значения суммарного водоотбора $Q_{\text{сум}}$ для предыдущего количества скважин $n \rightarrow Q_{\text{сум}}(n)$ и для нового (n^*) сравниваются между собой. Если

$Q_{\text{сум}}(n^*) \gg Q_{\text{сум}}(n)$, то снова увеличиваем число скважин и повторяем процесс решения. Если же при некотором \hat{n} получим, что $Q_{\text{сум}}(\hat{n}) = Q_{\text{сум}}(n^*)$, то это будет означать, что дальнейшее увеличение числа скважин экономически нецелесообразно. Последний результат $\{(x_k, y_k), n^*, Q_k, Q_{\text{сум}}, P^*\}$ и принимается за окончательное решение задачи.

Блок-схема полного алгоритма приведена на рис. 1, а результаты решения применительно к определенному участку — на рис. 2 и 3.

Армсельхозинститут

25. XII. 1985

И. Г. ГИДРАВЛИКА

ՈՌՈՂԵԼԻ ՀՈՂԱՏԱՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ՈՒՂՂԱԶԻԳ ԳՐԵՆԱԺԻ ՖՈՆԻ ՎՐԱ
ՋՐԱՓՈՒԿԱՆԱԿՄԱՆ ԽԵԿՐԻ ՕՊՏԻՄԻԶԱՑԻՈՒՄԸ

Ս. Մ Փ Ո Փ Ո Ս Վ

Գիտարկվում է ստորելի հողատարածությունում ստորերկրյա ճնշումային ջրերի ջրհորների միջոցով օգտագործման օպտիմիզացիայի խնդրի լուծումը: Օպտիմիզով ջրատար շերտերից տարբեր սեփմաներով խումբ ջրհորների միջոցով ջրատման տեսական բանաձևերից՝ առաջարկվում է ալգորիթմ $EC-1035$ էՆՆ-ի վրա ջրհորների թվի, նրանց օպտիմալ դասավորության և ելրի հաշվման համար, որի դեպքում եվազագույն ծախսումներով ստացվում է առավելագույն քանակությամբ ջրատու:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Глазуков И. С. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию рациональных схем скважинных позолaborов при разведке подземных вод — М.: Наука, 1973. — 128 с.
2. Казрян С. М. Расчет взаимодействующих систем скважин в слоистых толщах — Изв. АН АрмССР (сер. ТН), 1986 т. XXXIX, № 2, с. 36—41.
3. Растрини А. А. Случайный поиск в задачах оптимизации многопараметрических систем. — Рязь: Зинатне, 1965. — 211 с.

Изв. АН АрмССР (сер. ТН), т. XI, № 2, 1987

ГИДРАВЛИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН, Р. Г. МАРТИРОСЯН

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ НА УЧАСТКАХ КАНАЛА
С КРИВОЛИНЕЙНЫМ ОЧЕРТАНИЕМ ПРОФИЛЯ ДНА

При гидравлическом расчете каналов с криволинейным очертанием профиля дна в отличие от обычных принимаются следующие условия: а) живые сечения и глубина потока определяются в нормальном