

Math-Net.Ru

All Russian mathematical portal

M. Baklushin, Kh. A. Muzafarov, S. I. Pulatov, Simulation of the stream when galleries of chinks are in the layer containing a poor penetrating seam, *Mat. Model.*, 1996, Volume 8, Number 10, 83–90

Use of the all-Russian mathematical portal Math-Net.Ru implies that you have read and agreed to these terms of use

<http://www.mathnet.ru/eng/agreement>

Download details:

IP: 18.97.9.174

February 8, 2025, 23:20:57



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

том 8 номер 10 год 1996

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

УДК 533.539

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ГАЛЕРЕЙ СКВАЖИН В ПЛАСТЕ, СОДЕРЖАЩЕМ СЛАБО ПРОНИЦАЕМУЮ ПРОСЛОЙКУ

© М.Б. Баклушин, Х.А. Музафаров, С.И. Пулатов

Ташкентский государственный университет

Приводится аналитическое решение задачи фильтрации жидкости в прямоугольной области при наличии галерей скважин, когда граница области содержит линии сброса и контуры питания. Для стационарного случая найдены суммы рядов, входящих в решение исходной математической модели, а распределение напоров представляется в виде комбинации гиперболических функций.

SIMULATION OF THE STREAM WHEN GALLERIES OF CHINKS ARE IN THE LAYER CONTAINING A POOR PENETRATING SEAM

M.B. Baklushin, H.A. Muzafarov, S.I. Pulatov

Tashkent State University

The analytical solution of the liquid filtration problem in the rectangular field when there are galleries of chinks and the border of the field contains the lines of throw off and the contours of feeding is presented. The sums of rows which are in the solution of the initial mathematical model are found for stational case and the distribution of forces is presented as the combination of hyperbolic functions.

Введение. В последнее время индустриализация и активные антропогенные воздействия на окружающую среду привели к неблагоприятным экологическим ситуациям во многих регионах нашей планеты. Проблемы, связанные с исследованием экологических процессов, являются наиболее актуальными и требуют незамедлительных решений с использованием современных методов исследований [1] и средств мощных вычислительных систем [2,3] для реализации параллельных алгоритмов.

Научно обоснованные расчеты необходимы для изучения сложных фильтрационных течений грунтовых вод при наличии различного рода дренажных сооружений [4,5,6]. Аналогичные расчеты приходится производить в задачах миграции влаги и загрязнений при прогнозе гидрохимического режима почвогрунтов и грунтовых вод, при орошении, промывках и осушении земель [7].

Достаточно указать на то, что интенсивное развитие орошаемого земледелия в Средней Азии без должного обоснования и анализа взаимосвязи многообразных природных условий привело как к изменению водно-солевого баланса почвогрунтов, так и к нарушению экологии в целом [8].

Аналитические решения в слоях ограниченной протяженности, имеющих хорошо водопроницаемые напорные горизонты и прослойки с низкими коэффициентами фильтрации, обычно при стационарном режиме содержат слабосходящиеся ряды. В некоторых случаях такие ряды удается просуммировать, что позволяет реализовать исходную математическую модель при малых затратах машинного времени на ЭВМ, а иногда – произвести расчеты по таблицам элементарных и специальных функций [9].

1. Математическое моделирование физического процесса. В качестве примера рассматривается фильтрация в прямоугольной области при наличии галерей скважин вертикального дренажа, совершенные фильтры которых помещены в слое с напором $h(x, y)$.

Исходная математическая модель состоит из дифференциального уравнения

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{k_{\Pi}}{m_{\Pi} T} (H_1 x + H_2 - h) + \frac{q_2(y)}{T} \delta(x - x_1) + \frac{q_2(x)}{T} \delta(y - y_1) = 0, \quad (1)$$

$$0 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq \sigma,$$

со следующими граничными условиями:

$$h(0, y) = h_1, \quad h(L, y) = h_2, \quad \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{y=\sigma} = 0, \quad (2)$$

где k_{Π} , m_{Π} , T , H_1 , H_2 , h_1 , h_2 , L , σ – постоянные физические величины, $\delta(r)$ – дельта-функция Дирака, точка (x_1, y_1) является внутренней для рассматриваемой области;

$$q_1(y) = BT \{ \text{ch}(\omega y) \text{ch}[\omega(\sigma - y_1)] + \text{ch}(\omega y_1) \text{ch}[\omega(\sigma - y)] \} \text{sh}(\omega L),$$

$$q_2(x) = BT \{ \text{sh}(\omega x) \text{sh}[\omega(L - x_1)] + \text{sh}(\omega x_1) \text{sh}[\omega(L - x)] \} \text{sh}(\omega \sigma),$$

$$B = \omega G / \text{sh}(\omega x_1) \text{sh}[\omega(L - x_1)] \text{ch}(\omega y_1) \text{ch}[\omega(\sigma - y_1)],$$

$$G(x_1, y_1) = H_2 + (h_2 - H_2) \frac{\text{sh}(\sqrt{c} x_1)}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} + (h_1 - H_2) \frac{\text{sh}[\sqrt{c} (L - x_1)]}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} -$$

$$- H_1 L \left(\frac{\text{sh}(\sqrt{c} x_1)}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} - \frac{x_1}{L} \right) - h(x_1, y_1),$$

$$\omega = \sqrt{c/2}, \quad c = k_{\Pi} / (m_{\Pi} T).$$

Функции $q_1(y)$ и $q_2(x)$ выбраны таким образом, чтобы значительная часть расхода приходилась на скважину, помещенную в точку (x_1, y_1) пересечения галерей.

Введем функцию

$$u(x, y) = -G(x, y),$$

тогда уравнение (1) и условия (2) примут вид

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - cu = -\frac{q_1(y)}{T} \delta(x - x_1) - \frac{q_2(x)}{T} \delta(y - y_1), \quad (3)$$

$$u(0, y) = u(L, y) = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=0} = \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y=\sigma} = 0. \quad (4)$$

Применим к (3) последовательно синус- и косинус-преобразования Фурье, тогда с учетом (4) получим

$$\begin{aligned} \tilde{u} = & \frac{B \operatorname{sh}(w\sigma) \operatorname{sh}(wL)}{\left(w^2 + \frac{\lambda^2 \pi^2}{\sigma^2}\right) \left(c + \frac{n^2 \pi^2}{L^2} + \frac{\lambda^2 \pi^2}{\sigma^2}\right)} \left\{ w [(-1)^n \operatorname{ch}[\omega(\sigma - y_1)] + \operatorname{ch}(\omega y_1)] \sin \frac{n\pi x_1}{L} + \right. \\ & \left. + \frac{\pi n}{L} [(-1)^{n+1} \operatorname{sh}[\omega(L - x_1)] + \operatorname{sh}(\omega x_1)] \cos \frac{\lambda \pi y_1}{\sigma} \right\}. \quad (5) \end{aligned}$$

При переходе к оригиналу в (5) с использованием следующих сумм рядов [1]:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{n \sin \frac{n\pi \xi}{L}}{\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2} = \frac{L^2 \operatorname{sh}[\alpha(L - \xi)]}{2\pi \operatorname{sh}(\alpha L)},$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1} n \sin \frac{n\pi \xi}{L}}{\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2} = \frac{L^2 \operatorname{sh}(\alpha \xi)}{2\pi \operatorname{sh}(\alpha L)},$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{[(-1)^n - 1] n \sin \frac{n\pi \xi}{L}}{n [\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2]} = \frac{\pi}{2\alpha^2} \left[\frac{\operatorname{sh}(\alpha \xi)}{\operatorname{sh}(\alpha L)} + \frac{\operatorname{sh}[\alpha(L - \xi)]}{\operatorname{sh}(\alpha L)} - 1 \right],$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n n \sin \frac{n\pi \xi}{L}}{n [\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2]} = \frac{\pi}{2\alpha^2} \left[\frac{\operatorname{sh}(\alpha \xi)}{\operatorname{sh}(\alpha L)} + \xi/L \right],$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi \xi_0}{L} \sin \frac{n\pi \xi}{L}}{\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{L}\right)^2} = \begin{cases} \frac{L \operatorname{sh}(\alpha \xi) \operatorname{sh}[\alpha(L - \xi_0)]}{2\alpha \operatorname{sh}(\alpha L)}, & 0 \leq \xi \leq \xi_0, \\ \frac{L \operatorname{sh}(\alpha \xi_0) \operatorname{sh}[\alpha(L - \xi)]}{2\alpha \operatorname{sh}(\alpha L)}, & \xi_0 \leq \xi \leq L. \end{cases}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos \frac{n\pi \eta_0}{\sigma} \cos \frac{n\pi \eta}{\sigma}}{\alpha^2 + \left(\frac{n\pi}{\sigma}\right)^2} = \begin{cases} \frac{\sigma \operatorname{ch}(\alpha \eta) \operatorname{ch}[\alpha(\sigma - \eta_0)]}{2\alpha \operatorname{sh}(\alpha \sigma)} - \frac{1}{2\alpha^2}, & 0 \leq \eta \leq \eta_0, \\ \frac{\sigma \operatorname{ch}(\alpha \eta_0) \operatorname{ch}[\alpha(\sigma - \eta)]}{2\alpha \operatorname{sh}(\sigma L)} - \frac{1}{2\alpha^2}, & \eta_0 \leq \eta \leq \sigma, \end{cases}$$

найдем

$$u(x, y) = \frac{\sqrt{2} B \operatorname{sh}(w\sigma) \operatorname{sh}(wL)}{c \sigma \operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} [\operatorname{ch}[\omega(\sigma - y_1)] + \operatorname{ch}(\omega y_1)] \times$$

$$\begin{aligned}
& \times \left\{ \begin{array}{l} \text{sh}(\sqrt{c}x)\text{sh}[\sqrt{c}(L-x_1)], \quad 0 \leq x \leq x_1, \\ \text{sh}(\sqrt{c}x_1)\text{sh}[\sqrt{c}(L-x)], \quad x_1 \leq x \leq L. \end{array} \right. + \\
& + \frac{4\pi B \text{sh}(w\sigma)\text{sh}(wL)}{L^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n [(-1)^{n+1} \text{sh}[\omega(L-x_1)] + \text{sh}(\omega x_1)]}{\psi_n [w^2 + (\frac{n\pi}{L})^2]} \text{sh}(\psi_n \sigma) \sin \frac{n\pi x}{L} \times \\
& \times \left\{ \begin{array}{l} \text{ch}(\psi_n y)\text{ch}[\psi_n(\sigma-y)], \quad 0 \leq y \leq y_1, \\ \text{ch}(\psi_n y_1)\text{ch}[\psi_n(\sigma-y)], \quad y_1 \leq y \leq \sigma. \end{array} \right. + \\
& + \frac{2wB \text{sh}(w\sigma)\text{sh}(wL)}{\sigma} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[(-1)^n \text{ch}[\omega(\sigma-y_1)] + \text{ch}(\omega y_1)]}{\zeta_\lambda [w^2 + (\frac{n\pi}{\sigma})^2]} \text{sh}(\zeta_\lambda L) \cos \frac{\lambda \pi y}{\sigma} \times \\
& \times \left\{ \begin{array}{l} \text{sh}(\zeta_\lambda x)\text{sh}[\zeta_\lambda(L-x_1)], \quad 0 \leq x \leq x_1, \\ \text{sh}(\zeta_\lambda x_1)\text{sh}[\zeta_\lambda(L-x)], \quad x_1 \leq x \leq L, \end{array} \right. \quad (6)
\end{aligned}$$

где $\psi_n^2 = c + (\pi n/L)^2$, $\zeta_\lambda^2 = c + (\pi \lambda/\sigma)^2$

Суммы, входящие в соотношение (6), можно определить следующим образом. Легко показать, что функция

$$u(x,y) = -G \begin{cases} \frac{\text{sh}(\omega x)\text{ch}(\omega y)}{\text{sh}(\omega x_1)\text{ch}(\omega y_1)}, & 0 \leq x \leq x_1, \quad 0 \leq y \leq y_1, \\ \frac{\text{sh}(\omega x)\text{ch}[\omega(\sigma-y)]}{\text{sh}(\omega x_1)\text{ch}[\omega(\sigma-y_1)]}, & 0 \leq x \leq x_1, \quad y_1 \leq y \leq \sigma, \\ \frac{\text{sh}[\omega(L-x)]\text{ch}(\omega y)}{\text{sh}[\omega(L-x_1)]\text{ch}(\omega y_1)}, & x_1 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq y_1, \\ \frac{\text{sh}[\omega(L-x)]\text{ch}[\omega(\sigma-y)]}{\text{sh}[\omega(L-x_1)]\text{ch}[\omega(\sigma-y_1)]}, & x_1 \leq x \leq L, \quad y_1 \leq y \leq \sigma. \end{cases} \quad (7)$$

удовлетворяет уравнению

$$\partial^2 u / \partial x^2 + \partial^2 u / \partial y^2 - 2w^2 u = 0,$$

условиям (4), а также соотношениям

$$\frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y_1+0} - \frac{\partial u}{\partial y} \Big|_{y_1-0} = \frac{q_2(x)}{T}, \quad (8)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x_1+0} - \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x_1-0} = \frac{q_1(y)}{T}.$$

Условия (8) равносильны членам $\frac{q_1(y)}{T} \delta(x-x_1)$ и $\frac{q_2(x)}{T} \delta(y-y_1)$, входящим в уравнение (3). Применяя к (7) синус- и косинус-преобразования Фурье и производя сопоставление с (6), найдем

$$\sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x, L-x_1, y, \sigma-y_1) = \Omega(x, L-x_1, y, \sigma-y_1), \quad 0 \leq x \leq x_1, \quad 0 \leq y \leq y_1, \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x, L-x_1, y_1, \sigma-y) = \Omega(x, L-x_1, y_1, \sigma-y), \quad 0 \leq x \leq x_1, \quad y_1 \leq y \leq \sigma, \quad (10)$$

где

$$\Phi_n(r_1, r_2, r_3, r_4) = \frac{(-1)^n \operatorname{ch}[\omega(\sigma-y_1)] + \operatorname{ch}(\omega y_1)}{\xi_n \left[w^2 + \left(\frac{n\pi}{\sigma} \right)^2 \right] \operatorname{sh}(\xi_n L)} \operatorname{sh}(\xi_n r_1) \operatorname{sh}(\xi_n r_2) \cos \frac{\pi n y}{\sigma} +$$

$$+ \frac{2\pi\sigma n \left[(-1)^{n+1} \operatorname{sh}[\omega(L-x_1)] + \operatorname{sh}(\omega x_1) \right]}{\omega L^2 \psi_n \left[w^2 + \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \right] \operatorname{sh}(\psi_n \sigma)} \operatorname{ch}(\psi_n r_3) \operatorname{sh}(\psi_n r_4) \sin \frac{\pi n x}{L},$$

$$\Omega(r_1, r_2, r_3, r_4) = -\frac{1}{2\omega^2} \left[\frac{\sigma}{\operatorname{sh}(\omega\sigma) \operatorname{sh}(\omega L)} \operatorname{sh}(wr_1) \operatorname{sh}(wr_2) \operatorname{ch}(wr_3) \operatorname{sh}(wr_4) + \right.$$

$$\left. + \frac{\operatorname{ch}[\omega(\sigma-y_1)] + \operatorname{ch}(\omega y_1)}{\sqrt{2} \omega \operatorname{sh}(\sqrt{2} \omega L)} \operatorname{sh}(\sqrt{2} wr_1) \operatorname{sh}(\sqrt{2} wr_2) \right].$$

Аналогично для других зон можно записать

$$\sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x_1, L-x, y, \sigma-y_1) = \Omega(x_1, L-x, y, \sigma-y_1), \quad x_1 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq y_1, \quad (11)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \Phi_n(x_1, L-x, y_1, \sigma-y) = \Omega(x_1, L-x, y_1, \sigma-y), \quad x_1 \leq x \leq L, \quad y_1 \leq y \leq \sigma. \quad (12)$$

Напоры в хорошо водопроницаемом слое будут определяться формулой

$$h(x, y) = H_2 + (h_2 - H_2) \frac{\operatorname{sh}(\sqrt{c} x)}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} + (h_1 - H_2) \frac{\operatorname{sh}[\sqrt{c} (L-x)]}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} - H_1 L \left(\frac{\operatorname{sh}(\sqrt{c} x)}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} - \frac{x}{L} \right) +$$

$$+ \left\{ h(x_1, y_1) - H_2 - (h_2 - H_2) \frac{\operatorname{sh}(\sqrt{c} x_1)}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} - (h_1 - H_2) \frac{\operatorname{sh}[\sqrt{c} (L-x_1)]}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} + \right.$$

$$\left. + H_1 L \left(\frac{\operatorname{sh}(\sqrt{c} x_1)}{\operatorname{sh}(\sqrt{c} L)} - \frac{x_1}{L} \right) \right\} \times$$

$$\times \begin{cases} \frac{\operatorname{sh}(\omega x) \operatorname{ch}(\omega y)}{\operatorname{sh}(\omega x_1) \operatorname{ch}(\omega y_1)}, & 0 \leq x \leq x_1, \quad 0 \leq y \leq y_1, \\ \frac{\operatorname{sh}(\omega x) \operatorname{ch}[\omega(\sigma-y)]}{\operatorname{sh}(\omega x_1) \operatorname{ch}[\omega(\sigma-y_1)]}, & 0 \leq x \leq x_1, \quad y_1 \leq y \leq \sigma, \\ \frac{\operatorname{sh}[\omega(L-x)] \operatorname{ch}(\omega y)}{\operatorname{sh}[\omega(L-x_1)] \operatorname{ch}(\omega y_1)}, & x_1 \leq x \leq L, \quad 0 \leq y \leq y_1, \\ \frac{\operatorname{sh}[\omega(L-x)] \operatorname{ch}[\omega(\sigma-y)]}{\operatorname{sh}[\omega(L-x_1)] \operatorname{ch}[\omega(\sigma-y_1)]}, & x_1 \leq x \leq L, \quad y_1 \leq y \leq \sigma. \end{cases} \quad (13)$$

Задача легко обобщается на случай работы 2N галерей скважин, линии действия которых параллельны контурам питания и линиям сброса. Решение ищется в виде

$$h(x,y) = H_2 + (h_2 - H_2) \frac{\text{sh}(\sqrt{c} x)}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} + (h_1 - H_2) \frac{\text{sh}[\sqrt{c} (L-x)]}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} - H_1 L \left(\frac{\text{sh}(\sqrt{c} x)}{\text{sh}(\sqrt{c} L)} - \frac{x}{L} \right) +$$

$$+ \sum_{n=1}^N A_n \begin{cases} \text{sh}(\omega x) \text{sh}[\omega(L-x_i)] \text{ch}[\omega(\sigma-y_i)] \text{ch}(\omega y), & 0 \leq x \leq x_i, 0 \leq y \leq y_i, \\ \text{sh}(\omega x) \text{sh}[\omega(L-x_i)] \text{ch}[\omega(\sigma-y)] \text{ch}(\omega y_i), & 0 \leq x \leq x_i, y_i \leq y \leq \sigma, \\ \text{sh}(\omega x_i) \text{sh}[\omega(L-x)] \text{ch}[\omega(\sigma-y_i)] \text{ch}(\omega y), & x_i \leq x \leq L, 0 \leq y \leq y_i, \\ \text{sh}(\omega x_i) \text{sh}[\omega(L-x)] \text{ch}[\omega(\sigma-y)] \text{ch}(\omega y_i), & x_i \leq x \leq L, y_i \leq y \leq \sigma. \end{cases}$$

Коэффициенты A_i определяются из условия, что при $x=x_i, y=y_i$:

$$h = H^{(i)}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Решение аналогичной нестационарной задачи при наличии в правой части уравнения (1) члена $(1/a)(\partial h/\partial t)$ (a — коэффициент пьезопроводности) и заданного начального условия относительно функции $h(x,y,0)$ значительно упрощается, если после применения интегрального преобразования Лапласа по временной переменной t использовать суммы рядов (9)-(12). Так, например, при начальном условии

$$h(x,y,0) = \frac{h_2 - h_1}{L} x + h_1$$

и при условиях (2) решение в области изображения имеет простой вид

$$\bar{h}(x,y,p) = \Gamma(x,s) + [\bar{h}(x_1,y_1,p) - \Gamma(x_1,s)] \times$$

$$\times \begin{cases} \bar{F}(x,y)/\bar{F}(x_1,y_1), & 0 \leq x \leq x_1, 0 \leq y \leq y_1; \\ \bar{F}(x,\sigma-y)/\bar{F}(x_1,\sigma-y_1), & 0 \leq x \leq x_1, y_1 \leq y \leq \sigma; \\ \bar{F}(L-x,y)/\bar{F}(L-x_1,y_1), & x_1 \leq x \leq L, 0 \leq y \leq y_1; \\ \bar{F}(L-x,\sigma-y)/\bar{F}(L-x_1,\sigma-y_1), & x_1 \leq x \leq L, y_1 \leq y \leq \sigma, \end{cases} \quad (14)$$

где

$$\Gamma(x,s) = \frac{1}{ps} \left\{ \frac{a(h_2 - h_1)(p + R_1)}{L} + ah_1(p + R_2) + \frac{c}{\text{sh}(\sqrt{s} L)} [(h_2 - H_2 - H_1 L) \text{sh}(\sqrt{s} x) + \right.$$

$$\left. + (h_1 - H_2) \text{sh}[\sqrt{s} (L-x)]] \right\};$$

$$\bar{F}(z_1, z_2) = \text{sh}(\sqrt{\nu} z_1) \text{ch}(\sqrt{\nu} z_2); \quad s = (p + ac)/a; \quad \nu = s/2;$$

$$R_1 = \frac{acH_1L}{h_2 - h_1}; \quad R_2 = \frac{acH_2}{h_1};$$

p — параметр интегрального преобразования Лапласа; $\bar{h}(x_1, y_1, p) \Rightarrow h(x_1, y_1, t)$ — задаваемые значения напора в точке пересечения галерей скважин.

Соотношение (14) является мероморфной функцией относительно p , поэтому переход к оригиналу осуществляется сравнительно просто. Замена (2) граничными условиями более общего вида приводит только к другим комбинациям гиперболических функций, входящих в $\bar{F}(x,y)$.

2. Анализ полученных результатов. На рис.1 и 2 приведены поверхности

напоров $h(x,y)$, вычисленных по формуле (13) со следующими параметрами: $L=100$ м, $\sigma=150$ м, $h_1=14$, $h_2=10$, $H_1=0$, $H_2=15$, $c=10^{-3}$ для различных значений напоров в точках пересечения галерей. Результаты решения, как видно из рисунков, достаточно хорошо согласуются с качественными данными процесса.

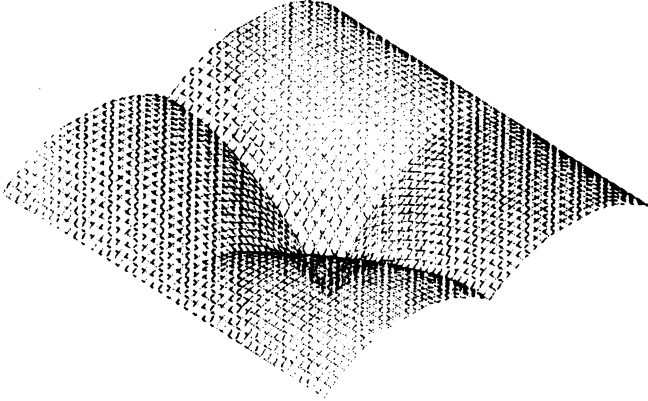


Рис. 1.

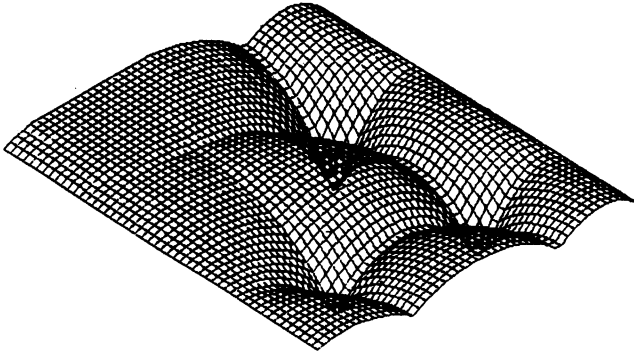


Рис. 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.А. Криксин, Е.А. Самарская, В.Ф. Тишкин. Балансовая модель в распространении примеси в плановом фильтрационном потоке // Математическое моделирование, 1993, т. 5, № 6, с. 69-84.
2. Е.А. Самарская, Б.Н. Четверушкин, Н.Г. Чурбанова, М.В. Яковлевский. Моделирование на параллельных вычислительных системах процессов распространения примесей в горизонтах подземных вод // Математическое моделирование, 1994, т. 6, № 4, с. 3-12.
3. Х.А. Музафаров, Б.Н. Четверушкин. О моделировании задач радиационной газовой динамики на многопроцессорных вычислительных системах // Математическое моделирование, 1992, т. 4, № 2, с. 11-21.
4. П.Я. Полубаринова-Кочина. Теория движения грунтовых вод. — М.: Наука, 1977, 664 с.
5. А.Я. Олейник. Гео-гидродинамика дренажа. — Киев: Наукова думка, 1981, 281 с.

6. *M.S. Hantush, C.E. Jacob*, Plane potential flow of ground water with linear leakage // Trans. USA Geophys. Union, 1954, p. 917-936.
7. *Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, Н.П. Кураков, В.С. Саркисян, Д.Ф. Шульгин*. Методы прогноза солевого режима грунтов и грунтовых вод. – М.: Колос, 1979, 336 с.
8. Водные проблемы аридных территорий // Сб. под ред. акад. РУз. Н.Р. Хамраева. – Ташкент: Фан, 1993, 77 с.
9. *М.А. Гусайнзаде, А.К. Колосовская*. Упругий режим в однопластовых и многопластовых системах. – М.: Недра, 1972. 454 с.
10. *И.С. Градштейн, И.М. Рыжик*. Таблицы интегралов, сумм рядов и произведений. – М.: Госиздат физ.-мат. литературы, 1962, 1100 с.

Поступила в редакцию
14.09.95.